STATO MAGGIORE DELL'ESERCITO

UFFICIO DELL'ISPETTORE PER LE TRASMISSIONI

N. 5066

FONDAMENTI DELLA RADIO

1ª ristampa dell'edizione 1954

Traduzione del TM 11 - 455

ROMA 1958

STATO MAGGIORE DELL'ESERCITO

UFFICIO DELL'ISPETTORE PER LE TRASMISSIONI

N. 5066

FONDAMENTI DELLA RADIO

1ª ristampa dell'edizione 1954

Traduzione del TM 11 - 455

ROMA 1958

INDICE

Cap.	I	– Introduzione alla radio	*Pag.*	5
»	II	– Elementi dei circuiti e simboli	»	15
»	III	– Circuiti accordati	»	44
»	IV	– Tubi a vuoto	»	72
»	V	– Rivelatori con tubi a vuoto	»	108
»	VI	– Amplificatori con tubi a vuoto	»	120
»	VII	– Ricevitori a circuiti accordati	»	142
»	VIII	– Ricevitore a supereterodina	»	158
»	IX	– Alimentatori di potenza	»	182
»	X	– Oscillatori con tubi a vuoto	»	203
»	XI	– Trasmettitori ad onde continue	»	219
»	XII	– Trasmettitori modulati	»	241
»	XIII	- Modulazione di frequenza	»	270
»	XIV	– Antenne - Irradiazione - Propagazione delle onde E. M.	»	313
»	XV	– Comunicazioni a frequenze molto alte (V.H.F.)	»	349
»	XVI	– Tubo a raggi catodici	»	359
»	XVII	– Radiogoniometri	»	377
»	XVIII	– Manutenzione e riparazione degli apparati radio	»	378

CAPITOLO I

INTRODUZIONE ALLA RADIO

1. Generalità.

a) Il successo e l'insuccesso di qualunque missione militare dipende dall'efficienza o meno del suo sistema di comunicazioni. Nei tempi odierni di guerra lampo, una comunicazione rapida e sicura è di più vitale importanza che nel passato. L'avvento della guerra meccanizzata, resa possibile dallo sviluppo dei veicoli a motore, degli aeroplani e dei carri armati, richiede un sistema di comunicazioni rapido, mobile, flessibile. La radio è il solo mezzo di comunicazione che soddisfa a questi requisiti. L'efficiente coordinazione di tutte le unità che costituiscono una moderna forza combattente sarebbe virtualmente impossibile senza le radiocomunicazioni. Centinaia di migliaia di complessi radio sono usati nelle armate per: dirigere i carri armati nella battaglia, rivelare l'avvicinamento degli aerei nemici, guidare i nostri aeroplani da caccia per prendere contatto con quelli nemici, dirigere i nostri bombardieri sui bersagli e guidarli nella strada di ritorno. Piccoli complessi portatili consentono comunicazioni istantanee per le truppe a piedi, e potenti stazioni fisse trasmettono ordini ai comandanti nella zona di battaglia. Tutti questi apparati debbono essere fatti funzionare in modo appropriato e bisogna eseguirne la manutenzione perchè altrimenti sarebbero inutili. Il mancato funzionamento di una stazione radio nel campo di battaglia può causare l'insuccesso di una missione e la perdita di molte vite umane.

b) La radio non è difficile da imparare se i suoi fondamenti sono insegnati passo per passo. Una cognizione esatta delle sue basi permette al tecnico ed al radio operatore di comprendere il funzionamento degli apparati e di ottenerne nell'impiego i migliori risultati.

2. Leggi fondamentali dell'elettricità.

a) Le leggi basilari che governano i fenomeni elettrici nei sistemi di radio comunicazioni sono in gran parte le stesse di quelle che si studiano negli ordinari sistemi elettrici di potenza. In questo manuale sono ricordati i principî elettrici per quel tanto che è necessario nelle applicazioni della radiotecnica.

b) Un principio elementare di trasmissione radio può essere più facilmente compreso se è confrontato con il funzionamento di un trasformatore. Se due bobine sono accoppiate insieme magneticamente ed una corrente alternata è applicata ad una bobina (chiamata primaria), una corrente alternata simile appare nella seconda bobina (chiamata secondaria), pur non essendovi alcuna connessione fisica o meccanica fra le due bobine. Nella trasmissione radio, una corrente alternativa ad alta frequenza, che è chiamata corrente a radio frequenza (r. f.), è applicata ad un filo indicato con il nome di *antenna trasmittente*. La corrente a r. f. che percorre questo filo, crea un campo magnetico ad alta frequenza intorno al filo. Se un secondo filo, denominato *antenna ricevente*, è posto in una località nella quale arriva il campo magnetico dell'antenna trasmittente, una corrente a r.f. percorrerà questo secondo filo. Quindi l'antenna trasmittente corrisponde al primario di un trasformatore e l'antenna ricevente corrisponde al suo secondario. L'effetto dell'antenna trasmittente sull'antenna ricevente è simile all'effetto del primario sul secondario del trasformatore.

3. Frequenze per le comunicazioni.

a) Un'onda di corrente alternata compie un certo numero di cicli per secondo. Questo numero (c.p.s.) determina la frequenza dell'onda. Le frequenze che possono essere inpiegate a scopo di comunicazione possono essere divise in due grandi gruppi: *audiofrequenze* e *radiofrequenze*.

b) Le audiofrequenze sono quelle comprese fra 15 e 20.000 cicli per secondo, alle quali l'orecchio umano normalmente risponde. I suoni a frequenze inferiori a 20 c.p.s. sono riconoscibili più come impulsi singoli che come toni. Le frequenze che contribuiscono maggiormente all'intelligibilità del parlare umano cadono approssimativamente fra 200 e 2500 cicli per secondo. La parola e la musica consistono effettivamente di combinazioni molto complicate di frequenze aventi forma irregolare e continuamente variabile. Vi sono frequenze armoniche che sono multiple della frequenza fondamentale (tono) e danno caratteristiche individuali ai suoni aventi la stessa frequenza fondamentale, ma provenienti da sorgenti differenti. Così, un violino ed un piano, entrambi emittenti un tono di 1000 cicli, non danno un suono uguale perchè sono presenti armoniche caratteristiche diverse. È stato determinato sperimentalmente che l'orecchio umano risponde meglio ai suoni di circa 2.000 cicli per secondo. Le onde sonore intorno ai 15.000 cicli per secondo e quelle ancora più alte, come quelle originate dai fischi acutissimi, sono in genere non udibili dall'orecchio medio.

Le frequenze audio sono usate per azionare i ricevitori telefonici, gli altoparlanti e gli altri dispositivi meccanici previsti per la riproduzione delle onde sonore che sono udibili dall'orecchio. Benchè le audio frequenze non possono essere direttamente usate per scopi di trasmissione, esse hanno una grande importanza nel campo delle radiocomunicazioni.

c) Le radiofrequenze si estendono da circa 20 chilocicli (cicli 20.000) ad oltre 30.000 megacicli (30.000.000.000 cicli). Poichè gruppi differenti di frequenze comprese entro questa larga banda producono effetti differenti nelle trasmissioni, le radiofrequenze sono divise in gruppi o bande per comodità di studio e di riferimento. Le bande usate per scopi militari sono mostrate nella Tabella I.

Poichè queste bande di frequenze presentano differenti caratteristiche di trasmissione, è conveniente annotare i risultati che possono attendersi dall'uso delle varie frequenze in condizioni normali di funzionamento.

Questi risultati sono indicati dalla Tabella II.

TABELLA I

BANDA	GAMMA DI FREQUENZA
Bassa frequenza (b. f.)	da 30 a 300 kc/s
Media frequenza (m. f.)	da 300 a 3.000 kc/s
Alta frequenza (h. f.)	da 3 a 30 mc/s
Altissima frequenza (v. h. f.)	da 30 a 300 mc/s
Ultra alta frequenza (u. h. f.)	da 300 a 3.000 mc/s

TABELLA II

BANDA	PORTATA (1)		POTENZA RICHIESTA	LUNGHEZZA D'ANTENNA
	Giorno	Notte		
Basse frequenze	Lunga	Lunga	Molto alta	Lunga
Medie frequenze	Media	Lunga	Da alta a media	Lunga
Alte frequenze (da 3 a 10 mc/s)	Corta	Media o lunga	Media	Media
Alte frequenze (da 10 a 30 mc/s)	Lunga	Corta	Bassa	Corta
Altissime frequenze (v. h. f.)	Corta	Corta	Bassa	Molto corta

(1) Lunga portata: oltre i 2.500 chilometri.
Portata media: dai 300 chilometri ai 2.500 chilometri.
Portata corta: sotto i 300 chilometri.

4. **Relazione fra la radiofrequenza e la lunghezza d'onda.**

a) Quando una corrente a r.f. percorre un'antenna trasmittente, sono irradiate da essa delle onde radio in tutte le direzioni, così come le onde dell'acqua provocate da un sasso lanciato su una superficie stagnante viaggiano allontanandosi dal punto colpito. È stato trovato che le onde radio viaggiano con una velo-

cità di 300.000.000 di metri al secondo. Le onde radio sono prodotte inviando una corrente alternativa ad alta frequenza su un filo. La frequenza dell'onda radiata dal filo sarà pertanto uguale alla frequenza, o numero di cicli per secondo, dalla corrente alternata ad alta frequenza.

b) Poichè la velocità di un'onda radio è costante, per trovare, indipendentemente dalla sua frequenza, la lunghezza d'onda (che è la distanza percorsa dalla radioonda nel tempo richiesto da un ciclo) è solo necessario dividere la velocità per la frequenza dell'onda. Questa è una importante relazione delle radiocomunicazioni:

$$\frac{300.000.000 \text{ (velocità in metri per secondo)}}{\text{Frequenza (in cicli per secondo)}} = \text{Lunghezza d'onda (in metri).}$$

Questa stessa relazione può essere espressa in un altro modo. Se la lunghezza d'onda è conosciuta, la frequenza può essere trovata dividendo la velocità per la lunghezza d'onda.

$$\frac{300.000.000 \text{ (velocità in metri al secondo)}}{\text{Lunghezza d'onda (in metri)}} = \text{Frequenza (in cicli al secondo).}$$

c) Le radioonde sono usualmente espresse in termini della loro frequenza. Poichè le frequenze impiegate nelle trasmissioni radio si estendono da parecchie migliaia a molte centinaia di milioni di cicli per secondo, è più conveniente esprimerle in chilocicli per secondo (kc) ed in megacicli per secondo (mc).

1 khz = 1.000 cicli per secondo.
1 mhz = 1.000 khz = 1.000.000 cicli per secondo.

5. Elementi delle radiocomunicazioni.

a) Per trasmettere a mezzo radio dei messaggi da una località ad un'altra, sono necessarie le seguenti attrezzature fondamentali (*vedere* fig. 1).

1) *Un trasmettitore*, per generare le onde di energia a r.f.

2) *Un tasto di manipolazione* od un *microfono* per controllare queste onde di energia.

3) *Un'antenna trasmittente*, per irradiare le onde a r. f.

4) *Un'antenna ricevente*, per intercettare una parte delle onde a r. f. irradiate.

5) *Un ricevitore*, per trasformare le onde a r. f. intercettate in onde ad audiofrequenza.

6) *Un altoparlante* o una *cuffia telefonica*, per trasformare le onde ad audiofrequenza in suono.

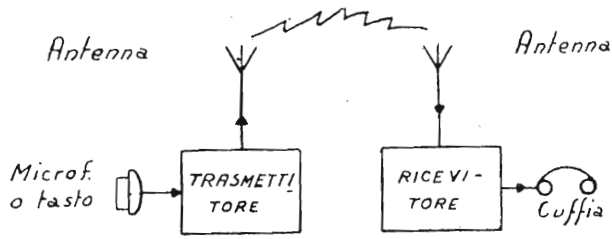


FIG. 1 - Diagramma a blocchi dell'equipaggiamento radio fondamentale.

b) Il trasmettitore radio più semplice possibile (fig. 2) consiste in un *alimentatore di potenza* e in un dispositivo chiamato *oscillatore*, per generare le correnti alternate a r. f.

L'alimentatore di potenza può essere dato da *batterie*, o da un *generatore elettromeccanico*, oppure da una *sorgente di potenza alimentata dalla rete*.

Per poter accordare tale trasmettitore alla desiderata frequenza di funzionamento, l'oscillatore deve contenere un *circuito accordato*.

È pure necessario poter disporre di un dispositivo che controlli l'energia a radiofrequenza generata da questo trasmettitore, se debbono essere inviati dei messaggi con questo mezzo. Il modo più facile per fare ciò consiste nell'impiegare un tasto per la manipolazione telegrafica (che è un semplice commutatore per controllare il flusso della corrente elettrica) connesso in serie con l'alimentatore di potenza e con l'oscillatore. Quando il tasto è in

funzione, la potenza applicata all'oscillatore è inserita e disinserita per intervalli variabili di tempo, in modo da poter determinare emissioni brevi (punti) ed emissioni un po' più lunghe (linee) di

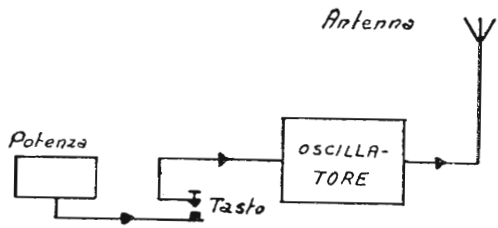


FIG. 2 - Diagramma a blocchi di un semplice trasmettitore radio.

energia a r. f. Poichè la potenza d'uscita, o l'energia a r.f., generata da questo oscillatore non è normalmente abbastanza grande da permettere trasmissioni aventi lunghe portate, esso è raramente usato da solo come radiotrasmettitore. Per accrescere, od amplificare, la potenza dell'oscillatore, un dispositivo conosciuto come un *amplificatore* a r.f. è generalmente impiegato nei moderni trasmettitori radio. L'aggiunta di questo *stadio* è indicata dalla figura 3. Tale trasmettitore è completamente soddisfacente

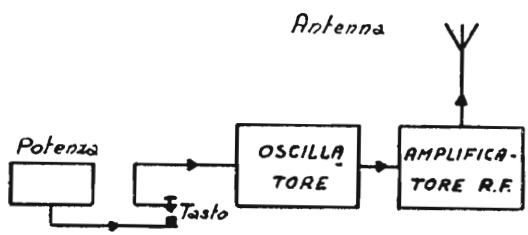


FIG. 3 - Diagramma a blocchi di un trasmettitore con oscillatore e amplificatore.

per gli scopi pratici, quando è desiderata soltanto radiotelegrafia, ossia trasmissione a codice. Tuttavia, per poter trasmettere dei messaggi a mezzo della voce è necessario escogitare qualche mezzo

per controllare l'uscita del trasmettitore in accordo con le frequenze della voce (audiofrequenze). Nei trasmettitori radiotelefonici moderni ciò è compiuto a mezzo di un modulatore che fa aumentare o diminuire l'uscita del trasmettitore in accordo con le frequenze vocali che vengono generate quando la parola entra nel microfono. Questo procedimento prende il nome di *modulazione* ed un'onda a r.f. modificata in questo prende il nome di *onda modulata*. La figura 4 mostra l'aggiunta del modulatore e del microfono richiesti per modificare un trasmettitore radiotelegrafico in un trasmettitore radiotelefonico.

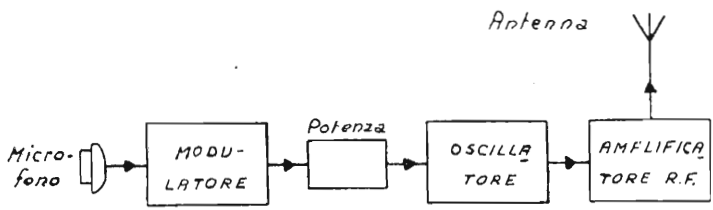


FIG. 4 - Diagramma a blocchi di un trasmettitore radiotelefonico.

c) Il ricevitore radio opera in modo differente dal trasmettitore ora discusso. Consideriamo il diagramma di un semplice radio ricevitore (*vedere* fig. 5). Le onde a radiofrequenza (provenienti da un trasmettitore) raggiungono l'antenna del ricevitore. Se una cuffia telefonica fosse connessa direttamente all'antenna ricevente per cercare di ricevere l'onda radio in arrivo, l'esito sarebbe negativo poichè l'orecchio umano non risponde alle radiofrequenze. È necessario pertanto un metodo a mezzo del quale l'« intelligenza » sotto la forma di onde ad audiofrequenza, possa essere estratta dalle onde a radiofrequenza e convertita in suono nella cuffia. Il circuito impiegato nei radioricevitori per compiere ciò si chiama *rivelatore*, poichè esso rivela effettivamente il segnale in arrivo (*radioonde*). Poichè il trasmettitore radio emette radioonde di una certa frequenza, il ricevitore deve disporre di qualche mezzo di *accordo* che *selezioni* la frequenza dell'onda radio desiderata. Questo è necessario per eliminare la ricezione contempo-

ranea di molti segnali radio di frequenze differenti. Quella parte del rivelatore che è usato per eseguire la scelta del segnale desiderato è chiamato *circuito accordato*. Poichè un segnale radio diminuisce d'intensità, o di ampiezza, in modo molto rapido dopo che esso lascia l'antenna trasmittente, è raramente possibile l'impiego di un solo amplificatore per la utile ricezione del segnale desiderato. Più grande è la distanza fra antenna trasmittente e antenna ricevente e più grande sarà la riduzione, ed attenuazione, dell'intensità del segnale. Quando il segnale raggiunge il ricevitore può essere cosi debole da non essere compreso nella cuffia. L'effettivo segnale a radiofrequenza raccolto da un'antenna ricevente, nelle normali comunicazioni radio è usualmente di pochi microvolt, e milionesimi di volt. Per poter aumentare il livello dell'uscita ad audiofrequenza del rivelatore, cosi da ottenere una ricezione soddisfacente nella cuffia, è impiegato un amplificatore ad audiofrequenza nel maggior numero di ricevitori. La figura 6 mostra un amplificatore ad audiofrequenza aggiunto al ricevitore radio

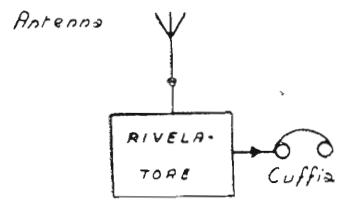


Fig. 5 - Diagramma a blocchi di un ricevitore semplice.

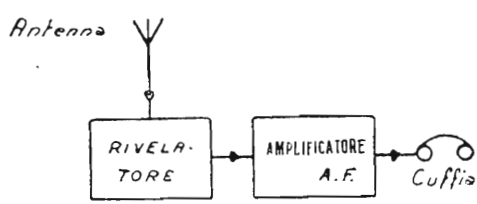


Fig. 6 - Diagramma a blocchi del rivelatore e dell'amplificatore audiofrequenza (a. f.).

semplice. Se si vuole aumentare ancora di più la *sensibilità* (abilità a ricevere segnali deboli) del ricevitore, sarà necessario amplificare il segnale a radiofrequenza prima che esso raggiunga il rivelatore. Questo è fatto a mezzo di un amplificatore a radiofrequenza.

Poichè l'amplificatore a r.f., al pari del ricevitore, è munito di uno o più circuiti accordati, per cui esso amplifica *soltanto* il segnale desiderato, l'aggiunta nel ricevitore di un amplificatore a r. f., non soltanto fa aumentare la sensibilità, ma pure accresce la *selettività* (abilità nel discriminare i segnali). Le parti essenziali di un ricevitore radio moderno sono indicate nella figura 7.

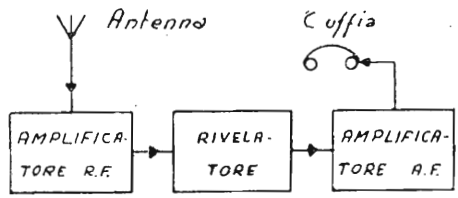


FIG. 7 - Diagramma a blocchi di un ricevitore radio completo.

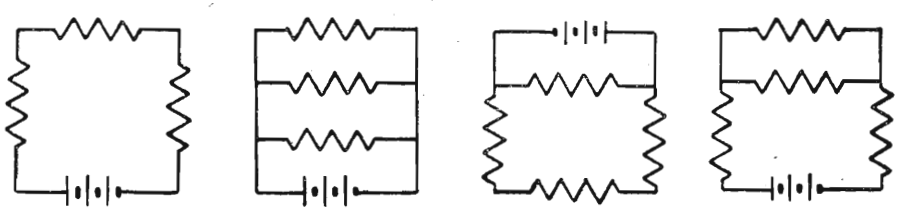
CAPITOLO II

ELEMENTI DEI CIRCUITI E SIMBOLI

6. Circuiti semplici.

a) È stato mostrato che i trasmettitori ed i ricevitori radio sono costituiti da un certo numero di circuiti, ciascuno dei quali ha un compito definito nel funzionamento del complesso. Il mancato funzionamento di uno qualunque di questi circuiti può provocare il non funzionamento dell'intero complesso. È pertanto necessario uno studio accurato di tali circuiti e delle loro singole parti.

b) Vi sono tre tipi generali di circuiti elettrici conosciuti, quali: *circuito serie*, *circuito parallelo* e *circuito serie-parallelo*, in dipendenza della disposizione delle parti (*vedere* fig. 8). Una



Circuito con connessioni in serie. Circuito con connessioni in parallelo. Combinazioni di connessioni serie-parallelo.

FIG. 8 - Circuiti semplici.

relazione semplice, conosciuta come legge di Ohm, esiste fra tensione, corrente e resistenza nei circuiti elettrici. Quando due di questi valori sono conosciuti, può essere facilmente trovato il terzo.

c) La semplice legge di Ohm dice che la corrente in un circuito è uguale alla tensione applicata al circuito divisa per la resistenza.

$$I \text{ (ampère)} = \frac{E \text{ (volt)}}{R \text{ (ohm)}}$$

Questa è la forma che è usata quando sono conosciute la tensione applicata al circuito e la resistenza del circuito e si desidera trovare il valore della corrente.

d) Se sono conosciute la corrente e la resistenza del circuito, la tensione applicata al circuito può essere trovata a mezzo della seconda forma della legge di Ohm che dice che la corrente moltiplicata per la resistenza è uguale alla tensione.

$$E \text{ (volt)} = I \text{ (ampère)} \times R \text{ (ohm)}$$

e) Se sono conosciuti i valori della corrente e della tensione, la resistenza del circuito può essere trovata a mezzo della terza forma della legge di Ohm che dice che la resistenza è uguale alla tensione diviso la corrente

$$R \text{ (ohm)} = \frac{E \text{ (volt)}}{I \text{ (ampère)}}$$

f) I circuiti in corrente continua (c.c.) ed i circuiti in corrente alternata sono in genere trattati separatamente. Poichè nella maggior parte dei circuiti radio sono presenti contemporaneamente corrente continua e corrente alternata, è importante comprendere il modo secondo cui le varie parti di un circuito radio controllano la corrente.

7. **Elementi dei circuiti.**

Qualunque circuito radio è una combinazione di parti disposte per controllare la corrente in modo da ottenere i risultati desiderati. I tre elementi di circuiti principali usati nella radiotecnica sono: *resistori*, *induttori* e *condensatori*.

8. **Resistori.**

a) Un resistore è un elemento di circuito progettato per introdurre della resistenza nel circuito, così da ridurre l'intensità di corrente. I resistori possono essere divisi in tre tipi generali, a

seconda della loro costruzione. Questi sono conosciuti come: *resistori fissi*, *resistori regolabili* e *resistori variabili*.

b) I resistori fissi sono usati per introdurre un valore costante di resistenza nel circuito. Le loro dimensioni e la loro costruzione sono determinate dal valore della potenza che debbono trasportare. Per le basse potenze sono usati piccoli resistori di carbone o metallizzati; quando la potenza da trasportare è abbastanza elevata sono impiegati grandi resistori del tipo di costruzione a filo avvolto. Parecchi tipi di resistori fissi sono mostrati dalla figura 9, insieme con il simbolo con cui vengono rappresentati

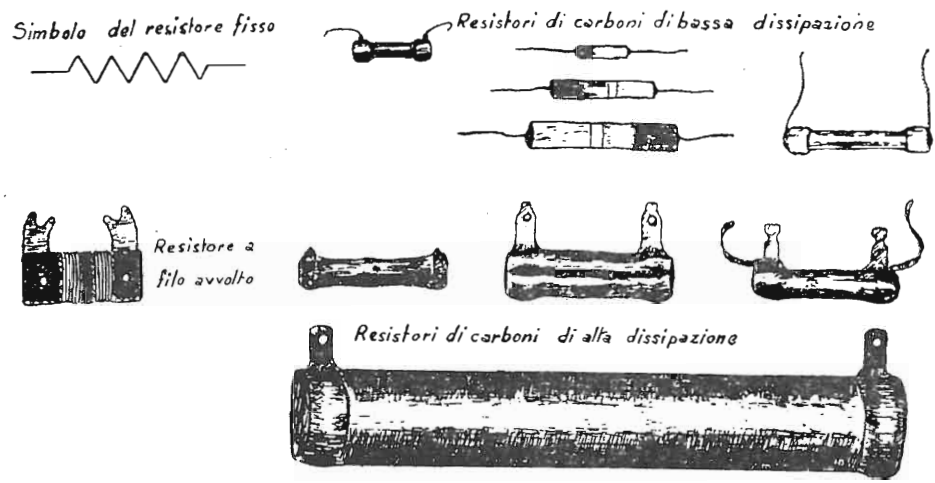


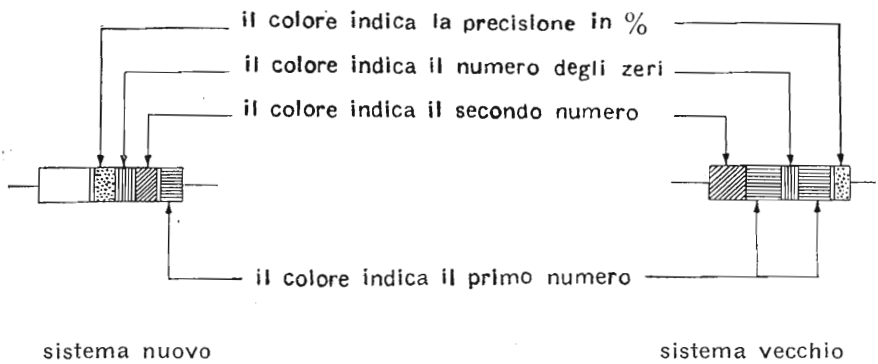
FIG. 9 - Resistori fissi.

nei diagrammi dei circuiti. I resistori fissi portano spesso delle strisce colorate per indicare il valore della loro resistenza e la loro precisione (tolleranza). Questo sistema di segnatura, chiamato codice a colore dei resistori, è semplice e può essere ricordato a memoria. La Tabella III indica tale codice oltre a parecchi esempi per il suo impiego. Quando un resistore fisso non porta nel codice a colore il segno di tolleranza in oro o in argento, occorre ricordare che il resistore ha solo la precisione compresa entro il 20 per cento del suo valore segnato in ohm. I grandi resistori fissi, da

impiegare nei circuiti di alta potenza, non hanno la codificazione a colori, ma il valore in ohm è generalmente impresso sul resistore.

TABELLA III

CODICE A COLORI PER I RESISTORI



COLORE	NUMERO	COLORE	NUMERO
Nero	0	Blu	6
Bruno	1	Violetto	7
Rosso	2	Grigio	8
Arancio	3	Bianco	9
Giallo	4	Oro	5 } precis. in per cento
Verde	5	Argento	10 } precis. in per cento

NOTA: Se non è segnato nè il colore argento nè il colore oro, la precisione deve intendersi del 20 % (*precisione usuale*).

ESEMPIO: Un resistore di 50.000 ohm., sarà indicato con un anello verde (5), un anello nero (0) ed un anello arancio (000), disposti, nel nuovo sistema, come sopra, indicato a sinistra. Nel vecchio sistema, indicato a destra nella figura, il resistore sarebbe dipinto verde (5) con una estremità nera (0) e un anello arancio (000) al centro.

c) I resistori regolabili sono stati usati quando è necessario variare o regolare di volta in volta il valore della resistenza in un circuito. Nella sua forma usuale, il resistore regolare è del tipo a filo avvolto, ed ha un (o più) collare scorrevole che può essere mosso lungo il resistore per scegliere qualunque valore desiderato di resistenza. Una volta scelto il valore della resistenza, il collare è bloccato sul posto. La figura 10 (1) mostra un resistore regolabile.

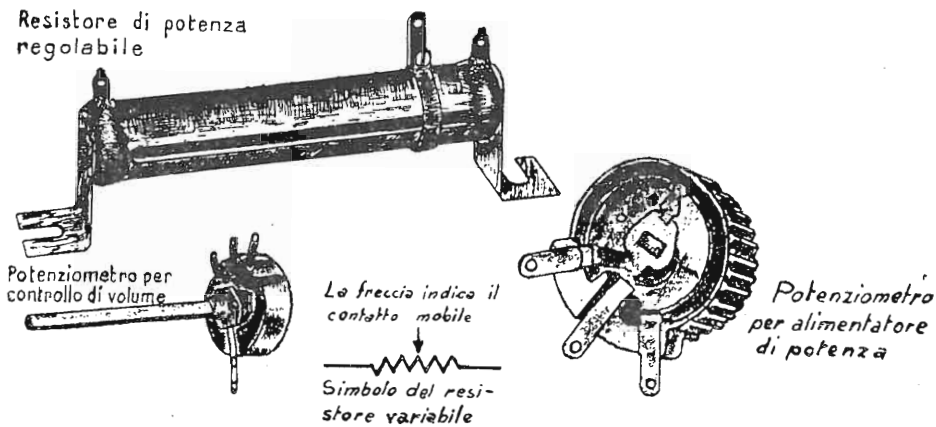


FIG. 10 – Resistori regolabili e variabili.

d) I resistori variabili sono usati in un circuito quando un valore di resistenza deve essere frequentemente cambiato. A seconda della potenza in gioco, i resistori variabili possono essere del tipo di fabbricazione a carbone od a filo avvolto. L'elemento di effettiva resistenza del resistore variabile ha usualmente la forma circolare e la presa scorrevole o braccio che fa contatto con esso è montato su un albero con manopola, manovrando la quale si può far variare gradualmente la resistenza. Se entrambe l'estremità dell'elemento di resistenza sono fornite di connessioni terminali (in aggiunta al braccio scorrevole) il resistore variabile è chiamato un *potenziometro*. La figura 10 (2) mostra un potenziometro impiegato come controllo di volume nei radioricevitori. La figura 10 (3) mostra un potenziometro avvolto di grosso filo, d'impiego nei

circuiti alimentatori di potenza. Se sono portati ai terminali di connessione soltanto un'estremità dell'elemento di resistenza ed il braccio scorrevole, il resistore variabile è chiamato un *reostato*. Il simbolo dei resistori regolabili è lo stesso di quello dei resistori variabili.

9. Calcolazioni delle resistenze.

a) Si verifica qualche volta che dovendo riparare dei complessi radio non si hanno pronte le parti da sostituire. È allora necessario impiegare le parti disponibili con le quali si possa eseguire la riparazione. Ciò è particolarmente vero nel caso dei resistori, poichè nei trasmettitori e nei ricevitori sono richiesti molti tipi di resistori di dimensioni e valori differenti. Un magazzino mobile non può trasportare migliaia di resistori di tutti i tipi e quindi non si dispone sempre dell'esatto tipo di resistore da sostituire per la riparazione in campagna dei vari equipaggiamenti. Allora il radiomontatore competente deve saper calcolare i valori di resistenza delle combinazioni di resistori (in serie e in parallelo) in modo che possa impiegare i resistori disponibili per le riparazioni di emergenza.

b) La resistenza totale di parecchi resistori connessi in serie è uguale alla somma delle resistenze dei singoli resistori.

$$R_t \text{ (totale)} = r_1 + r_2 + r_3 + \ldots$$

dove r_1, r_2, r_3, ecc. sono i valori delle singole resistenze.

c) Se parecchi resistori di uguale valore sono connessi in parallelo, la resistenza totale sarà uguale al valore di una resistenza diviso per il numero dei resistori.

$$R_t \text{ (totale)} = \frac{r \text{ (di un resistore)}}{n \text{ (numero di resistori)}}$$

Se parecchi resistori di valori differenti sono connessi in parallelo, il valore reciproco della resistenza totale è uguale alla somma dei valori reciproci dei singoli resistori.

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \ldots$$

d) Quando una corrente percorre una resistenza, parte dell'energia elettrica è trasformata in calore; quindi si dice che una resistenza consuma potenza. La potenza che un resistore consuma in un circuito dipende dalla tensione ad esso applicata e dalla corrente che lo percorre. Questa costituisce una potenza perduta (poichè il calore prodotto da un resistore in un circuito non è utilizzato) ed è conosciuta come la *dissipazione* del resistore. È molto importante conoscere quanta potenza dissipa un dato resistore in un dato circuito onde potere effettuare qualunque riparazione nel circuito. Se un resistore sostituito in un circuito non può sicuramente dissipare la potenza che lo attraversa esso si surriscalderà e può bruciarsi; inoltre l'elevata quantità di calore radiata può danneggiare le altre parti vicine. Per questa ragione i resistori sono caratterizzati dalle loro dissipazioni in watt, che rappresentano le potenze massime che possono essere dissipate. Così, un resistore di 2 watt può dissipare sicuramente sino a 2 watt di potenza ed un resistore di 5 watt può sicuramente dissipare sino a 5 watt di potenza. È conveniente, quando si sostituiscono resistori difettosi, di impiegare resistori capaci di dissipare una potenza maggiore della conosciuta potenza del circuito; una regola di sicurezza consiglia di impiegare resistori marcati per una potenza di almeno una volta e mezzo la potenza richiesta.

e) Per determinare la potenza di dissipazione in watt, quando sono conosciute tensione e corrente, basta moltiplicare la tensione per la corrente.

$$P \text{ (watt)} = E \text{ (volt)} \times I \text{ (ampère)}.$$

Quando sono conosciuti il valore della resistenza e la corrente che percorre il resistore, basta moltiplicare il quadrato della corrente per la resistenza.

$$P \text{ (watt)} = 1^2 \text{ (ampère)} \times R \text{ (ohm)}.$$

f) La resistenza presentata da un resistore al flusso della corrente è la stessa sia per corrente continua che per corrente alternata. Nel caso di corrente alternata, la resistenza rimane la stessa indipendentemente dalla frequenza.

10. Reattanza.

a) Due altri elementi di circuiti, gli induttori e i condensatori, sono pure usati per opporsi al flusso della corrente nei circuiti percorsi sia da corrente alternata che da corrente continua. Tuttavia, questa opposizione, a differenza dei resistori finora studiati, non è la stessa per la corrente alternata e per la corrente continua. L'induttore o il condensatore reagiscono in modo differente alle correnti alternate aventi varie frequenze: in altre parole, l'opposizione alla corrente non rimane costante al variare della frequenza della corrente alternata.

b) Nel caso dell'induttore, l'opposizione offerta al flusso della corrente alternata diviene più grande se la frequenza aumenta. Nel caso del condensatore, l'effetto è giusto l'opposto, diminuendo l'opposizione con l'aumentare della frequenza. L'opposizione che un condensatore o un induttore offrono al flusso della corrente alternata è chiamata *reattanza*. La reattanza di un induttore è chiamata *reattanza capacitiva*. Sia la reattanza induttiva che la capacità sono misurate in ohm.

11. Induttori.

a) Un induttore è un elemento di circuito progettato per introdurre un certo importo di reattanza induttiva in un circuito. Un induttore può avere varie forme fisiche, ma fondamentalmente esso non è altro che un filo avvolto a bobina. L'unità di misura dell'induttanza è l'henry con i suoi sottomultipli, millihenry ($= \frac{1}{1000}$ di henry) ed il microhenry ($= \frac{1}{1.000.000}$ di henry). L'induttanza di una bobina con nucleo d'aria aumenta con l'aumentare delle dimensioni della bobina e con l'aumentare del numero delle spire. L'impiego di materiale magnetico (come il ferro) per il nucleo della bobina fa accrescere l'induttanza; un metallo non magnetico (come il bronzo o il rame) fa diminuire l'induttanza. La reattanza induttiva di qualunque bobina aumenta con

l'aumentare della sua induttanza. Vi sono tre tipi generali di induttori: fissi, regolabili e variabili.

b) *Induttori fissi.* — Introducono valore costante di induttanza in un circuito. La maggior parte delle bobine usate nei circuiti radio sono del tipo fisso. Le bobine impiegate nei circuiti dei trasmettitori e ricevitori radio hanno usualmente nuclei d'aria. Il numero di spire di filo dipende dalla gamma di frequenza da coprire. La sola differenza fra bobine trasmittenti e riceventi è data dalle loro dimensioni, giacchè le bobine trasmittenti debbono sopportare correnti e tensioni notevolmente più grandi di quelle impiegate nei ricevitori. Una bobina trasmittente tipica è mostrata dalla figura 11 (1) e consiste in un singolo avvolgimento di filo di grande diametro.

c) *Induttori regolabili.* — Quelli impiegati nei moderni equipaggiamenti radio sono di due tipi principali. Il primo ed il più semplice consiste in una bobina munita di parecchie prese e di un

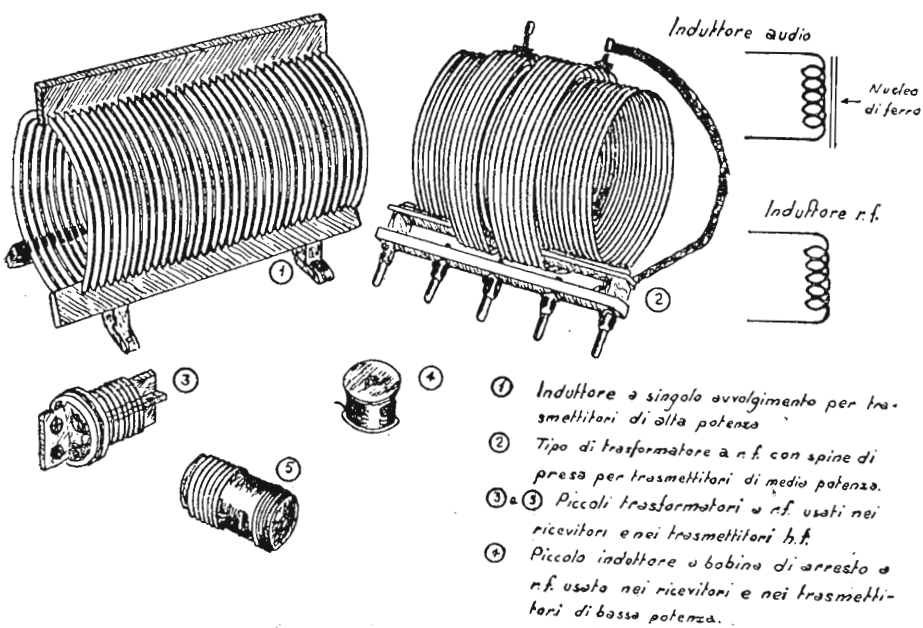


FIG. 11 - Induttori a r. f. e trasformatori tipici.

commutatore, cosicchè l'induttanza può essere aggiustata a salti. Questo tipo si trova principalmente nel circuito d'antenna dei radio trasmettitori, quando occorre regolare l'induttanza della bobina a seguito delle differenti lunghezze d'antenna dovute a cambio di frequenza. Nel secondo tipo, la bobina è dotata di un nucleo magnetico che può essere spostato in dentro o in fuori a mezzo di un tappo a vite. Questo tipo di induttore regolabile, conosciuto come induttore accordato per variazione di permeabilità, è qualche volta impiegato nei circuiti d'accordo dei trasmettitori e dei ricevitori intesi ad operare ad una sola frequenza. La figura 12 mostra l'impiego di un induttore a variazione di permeabilità

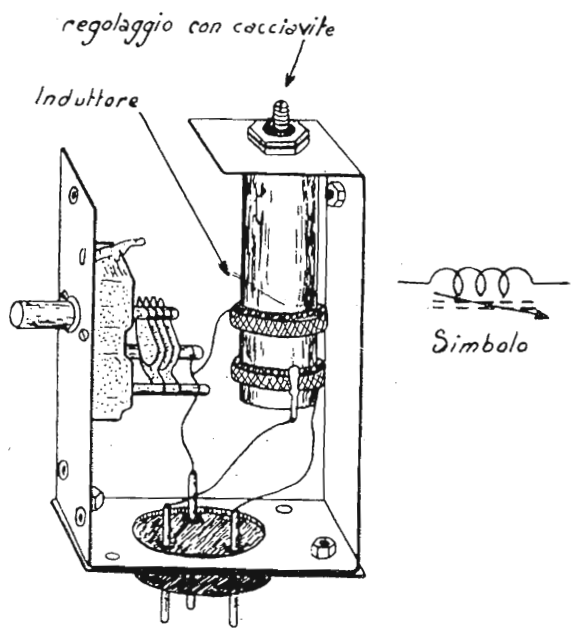


FIG. 12 - Induttore accordato per variazione di permeabilità.

inserito in un complesso di circuito accordato e mostra pure il simbolo con cui questo induttore regolabile è rappresentato nei circuiti schematici.

d) Gli *induttori variabili* sono trovati principalmente nei circuiti d'antenna dei radiotrasmettitori. Essi usualmente consistono in due bobine connesse in serie e sono così costruite che solo una bobina può ruotare entro l'altra facendo conseguentemente variare l'induttanza. Tali induttori sono chiamati *variometri*. La figura 13 mostra un variometro tipico e fornisce il simbolo per rappresentare gli induttori variabili nei circuiti schematici.

e) Una *bobina di arresto* o *di bloccaggio* è un induttore fisso che possiede la desiderabile proprietà di presentare un'alta reat-

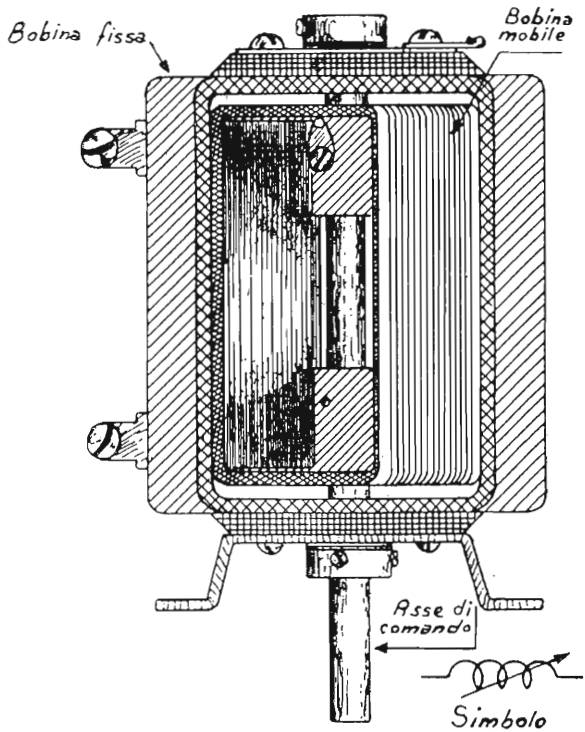
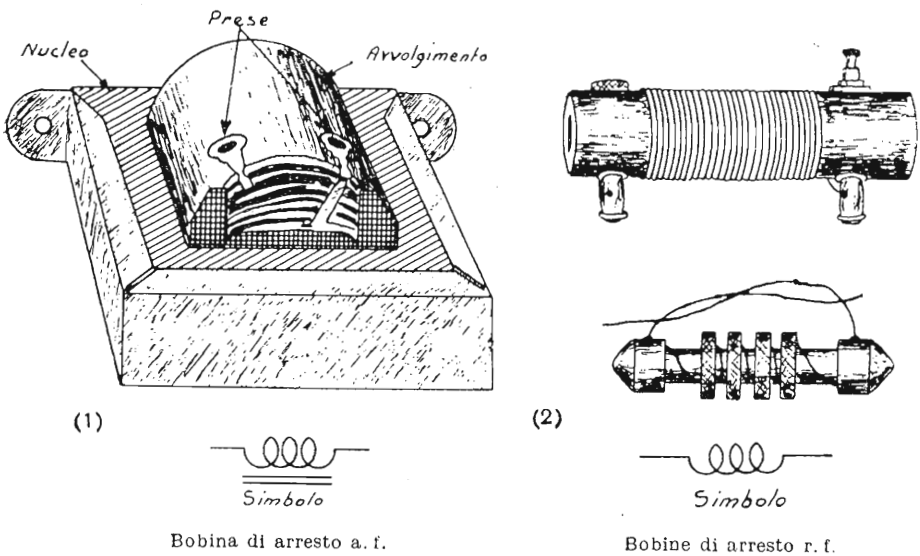


FIG. 13 - Variometro.

tanza alla corrente alternata, mentre presenta una bassissima resistenza alla corrente continua. Così una bobina di arresto può facilmente far passare la corrente continua ma tende a bloccare o ad

arrestare la corrente alternata. Delle bobine di arresto molto piccole a nucleo d'aria sono impiegate per impedire il passaggio di correnti alternate a radiofrequenza nei circuiti per correnti continue. Delle grandi bobine di arresto a nucleo di ferro sono usate nei circuiti ad audiofrequenza e come filtri di bloccaggio nei circuiti degli alimentatori di potenza. La figura 14 (2) mostra due piccole bobine di arresto a radiofrequenza insieme ai loro simboli. Una bobina di arresto con nucleo di ferro è pure mostrata, con il suo simbolo appropriato, dalla figura 14 (1).



Bobina di arresto a. f. Bobine di arresto r. f.

FIG. 14 - Bobine di arresto.

12. **Trasformatori.**

a) Se due bobine sono poste l'una vicina all'altra in modo che il campo creato da una bobina passi attraverso l'avvolgimento dell'altra, ne risulta un trasformatore, poichè una bobina trasferisce energia da se stessa all'altra bobina. Per esempio, se una bobina ha inserito in essa un generatore a corrente alternata, le linee variabili di forza magnetica dovute ad una bobina tagliano le spire del secondo avvolgimento, producendo una tensione

indotta (ossia originata) nella seconda bobina, pur non esistendo connessione metallica fra i due avvolgimenti. La bobina che produce il campo magnetico originale (o linee di forza) è chiamata il *primario* e la bobina in cui è indotta la tensione si chiama il *secondario;* le due bobine accoppiate induttivamente costituiscono un *trasformatore.* Nella radiotecnica vi sono tre gruppi di trasformatori classificati in base alle loro applicazioni: *trasformatori di potenza, trasformatori ad audiofrequenza* e *trasformatori a radiofrequenza.* I trasformatori di potenza e quelli ad audiofrequenza hanno i nuclei di materiali magnetici, usualmente qualche materiale ferroso. I trasformatori a radiofrequenza sono generalmente progettati con nucleo d'aria. Tuttavia, nuclei magnetici molto piccoli, generalmente costituiti da polvere di ferro cementata, sono usati per certi trasformatori a radiofrequenza di frequenza piuttosto bassa, conosciuti come *trasformatori a frequenza intermedia* (f. i.). Parecchi tipi di trasformatori con i loro corrispondenti simboli circuitali sono mostrati dalle figure 11 e 15.

b) *Trasformatori di potenza.* — Quelli usati nei trasmettitori e nei ricevitori radio trasformano la tensione di linea (usualmente 110–120 volt) ad una tensione più alta o più bassa. Quando la tensione è innalzata, il trasformatore è chiamato un trasformatore elevatore o in salita; quando la tensione è ridotta il trasformatore è chiamato un trasformatore in discesa. I trasformatori di potenza aventi sia avvolgimenti in salita che in discesa sullo stesso nucleo sono largamente impiegati; uno di questi trasformatori è mostrato dalla figura 15 (1).

c) *I trasformatori ad audiofrequenza* sono impiegati per trasferire tensioni aventi una larga gamma di audiofrequenze, anzichè tensioni di una sola frequenza come nel caso del trasformatore di potenza. I trasformatori ad audiofrequenza hanno nuclei di ferro e debbono essere in grado di trasportare una corrente continua di valore limitato nell'avvolgimento primario senza influenzare le componenti alternative ad audiofrequenza. Un trasformatore tipico ad audiofrequenza è mostrato dalla figura 15 (2).

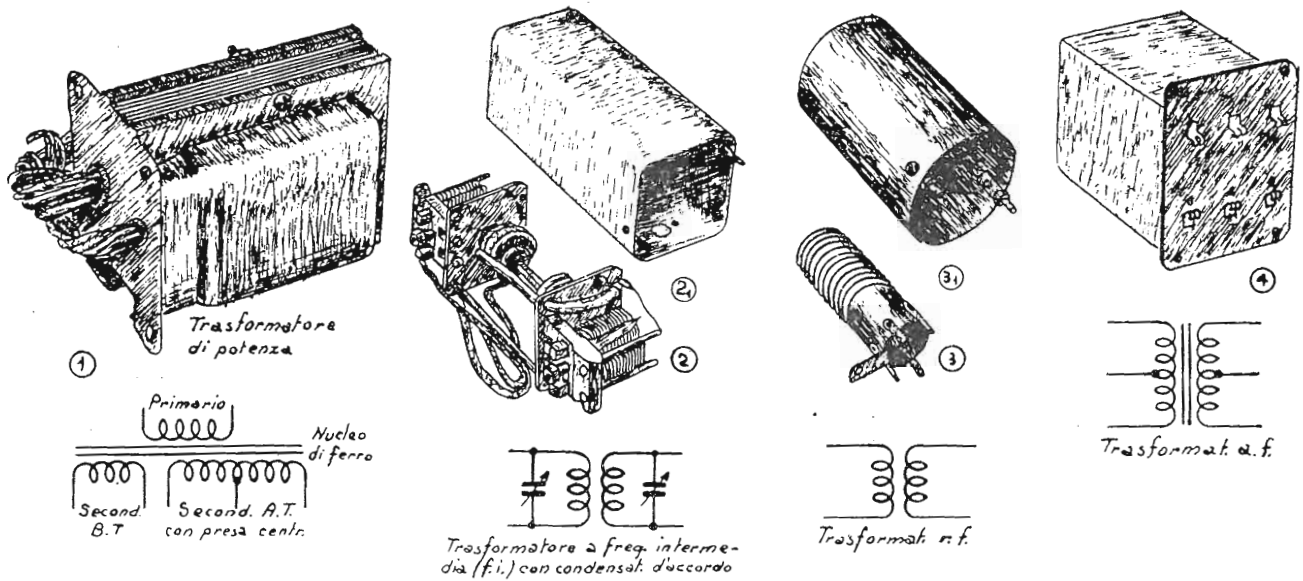
d) *I trasformatori a radiofrequenza* sono usati per trasferire tensioni a radiofrequenza e sono generalmente progettati per funzionare ad una frequenza particolare. I trasformatori dei ricevitori sono di piccole dimensioni e generalmente hanno nuclei d'aria [figure 11, (3), (4) e 15 (3)].

e) Quando i trasformatori a radiofrequenza sono usati per trasferire radiofrequenze che sono basse in confronto alla frequenza del segnale (come nel caso di un ricevitore a supereterodina, che sarà discusso in seguito), si hanno i trasformatori a frequenza intermedia (f. i.) figura 15 (4). I trasformatori a f. i. operano su una singola frequenza e possono avere nuclei di polvere di ferro.

f) Gli *autotrasformatori* posseggono un solo avvolgimento. È possibile ottenere l'azione di trasformazione con una sola bobina se è effettuata una presa intermedia in un punto compreso entro i terminali di estremità. Se è desiderato un effetto di innalzamento di tensione, l'avvolgimento fra la presa ed un'estremità costituisce il primario e l'avvolgimento completo agisce da secondario. Se è desiderato un effetto di abbassamento di tensione, l'avvolgimento completo costituisce il primario, e la sezione fra la presa intermedia ed un'estremità agisce come secondario. Gli autotrasformatori sono impiegati nei circuiti di potenza.

13. **Condensatori.**

a) Un *condensatore* è un elemento di circuito designato ad introdurre una reattanza capacitiva in un circuito. In radiotecnica le unità di capacità sono il microfarad (abbreviato μf) ed il micromicrofarad (abbreviato $\mu\mu$f). Un microfarad è uguale ad 1.000.000 di micromicrofarad. Un condensatore è formato da due o più placche metalliche separate da un materiale isolante chiamato *dielettrico*. La capacità di un condensatore aumenta con l'aumentare dell'area delle placche; la capacità, per contro, diminuisce con l'aumentare della distanza fra le placche. La reattanza capacitiva diviene più piccola con l'aumentare della capacità. Questo è giusto l'opposto di quello che si verifica nel caso dell'in-



① Trasformatore di potenza a più avvolgimenti (i conduttori dei vari avvolgimenti escono da fori praticati nella base del contenitore)

② Trasformatore a frequenza intermedia con attacchi per i condensatori variabili ad aria per accordare gli avvolgimenti primario e secondario. L'insieme è contenuto nella scatola quadr. d'allumio (2_1).

③ Trasformatori a radiofrequenza. L'insieme è montato nella scatola cilindrica d'allumio (3_1).

④ Trasformatore audiofrequenza di uscita per push-pull.

FIG. 15 – Trasformatori tipici.

duttore, in cui la reattanza induttiva aumenta con l'aumentare dell'induttanza. Se una batteria ordinaria è connessa ai due terminali di un condensatore, il condensatore verrà caricato e la carica si manterrà per un periodo di tempo, dipendente dal materiale isolante impiegato per il dielettrico. Se il dielettrico è un eccellente isolante, il condensatore manterrà la carica per molto tempo, dicendosi allora di avere una bassa *dispersione*. Vi sono tre tipi generali di condensatori: *fissi*, *regolabili* e *variabili*.

b) I *condensatori fissi* hanno un valore fisso di capacità in un circuito, e la maggioranza dei condensatori impiegati nella radiotecnica sono di questo tipo. Si trovano molti tipi di costruzione, dipendenti principalmente dalla tensione che possono sopportare e dall'importo di dispersione permissibile nel dielettrico. I condensatori fissi sono generalmente chiamati in base al tipo di dielettrico impiegato nella costruzione. I tipi principali dei condensatori fissi sono: *condensatori a mica*, *condensatori a carta e condensatori elettrolitici*. Questi tipi differenti di condensatori sono mostrati dalla figura 16.

c) I *condensatori a mica* sono usati principalmente nei circuiti a radiofrequenza dei trasmettitori e dei ricevitori. Una bassa dispersione è un importante requisito di tali circuiti. Pertanto la mica è usata come dielettrico perchè essa è uno dei migliori materiali isolanti conosciuti. I condensatori a mica hanno raramente un valore di capacità più grande di 0,05 microfarad ed essi possono sopportare generalmente un'alta tensione. I condensatori a mica, al pari dei resistori fissi, sono spesso colorati secondo un certo codice per indicare il loro valore di capacità. (Una spiegazione esauriente del codice a colori dei condensatori a mica è data dalla Tabella IV).

d) I *condensatori a carta* sono costituiti da fogli di stagno e di carta avvolti insieme e impregnati con cera per escludere l'umidità. Essi sono largamente usati nei circuiti dove una bassa dispersione non ha grande importanza, tale come nei circuiti degli amplificatori ad audiofrequenza, nei circuiti degli alimentatori di potenza ed in qualche circuito di amplificatore a radiofrequenza.

e) I *condensatori elettrolitici* si basano su una azione chimica che si verifica nel loro interno per produrre una sottile pellicola di ossido che funziona da dielettrico. Conseguentemente, questi condensatori sono polarizzati; cioè essi hanno un terminale positivo e un terminale negativo che debbono essere connessi appropriatamente al circuito. L'inserzione errata danneggia la pellicola di ossido mettendo in corto il condensatore. Poichè il funzionamento di questi condensatori dipende da un'azione chimica che

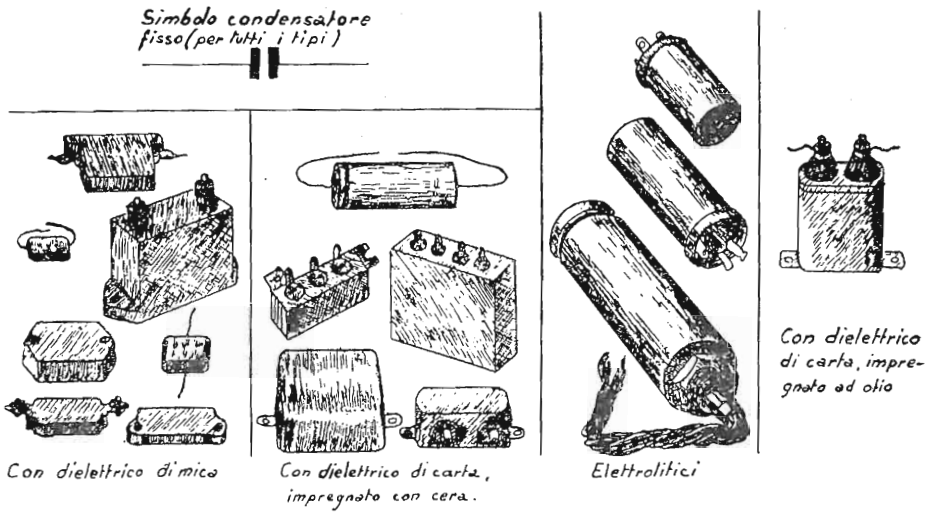


FIG. 16 - Condensatori fissi tipici.

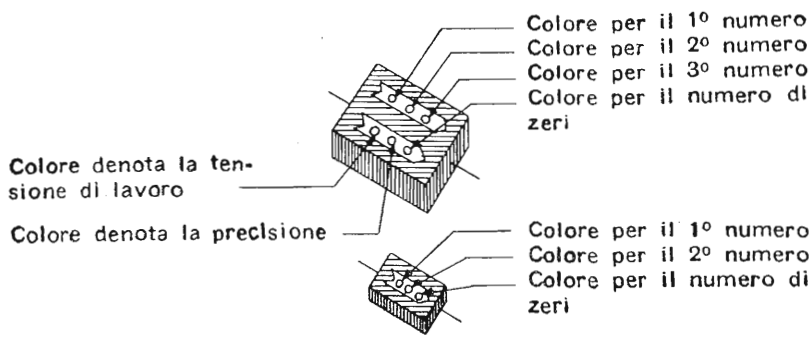
ha luogo quando essi sono attraversati dalla corrente, che produce il loro dielettrico, i condensatori elettrolitici hanno una dispersione più alta dei condensatori a mica ed a carta. Il principale vantaggio dei condensatori elettrolitici è che, a parità di dimensioni, essi hanno una capacità molto più grande degli altri tipi di condensatori. Essi sono usati principalmente negli alimentatori di potenza, dove la dispersione non è un fattore di forte limitazione.

f) I *condensatori regolabili* sono usati dove è necessario regolare di volta in volta la capacità di un circuito. Questi condensatori regolabili (qualche volta chiamati con il vocabolo inglese « trimmers ») sono largamente usati per i regolaggi fissi dei cir-

cuiti accordati dai radioricevitori (operazione questa, chiamata *allineamento*). Essi sono spesso usati per i circuiti di accordo che operano soltanto ad una frequenza. I condensatori regolabili sono di due tipi: tipo accordato a mica e tipo accordato ad aria, a seconda del dielettrico impiegato. La figura 17 illustra entrambi i tipi.

TABELLA IV

CODICE A COLORI PER CONDENSATORI A MICA



COLORE	NUMERO	COLORE	NUMERO
Nero	0	Blu	6
Bruno	1	Violetto	7
Rosso	2	Grigio	8
Arancio	3	Bianco	9
Giallo	4	Oro	5 } precis. in per cento
Verde	5	Argento	10 } precis. in per cento

NOTA: Tutti i valori delle capacità sono dati in micromicrofarad ($\mu\mu$f).
Tutti i valori delle tensioni di lavoro sono espressi in centinaia di volt.

g) I *condensatori variabili* sono usati nei circuiti in cui la capacità deve essere continuamente variabile. Essi sono usati come elementi per eseguire l'accordo praticamente in tutti i radio ricevitori e trasmettitori. La maggior parte dei condensatori variabili impiegati nei circuiti radio sono del tipo con dielettrico ad aria. Un condensatore variabile singolo è costituito da due complessi di placche metalliche isolati l'un dall'altro e cosi disposti che un complesso di placche può essere mosso rispetto all'altro complesso. Le placche che stanno ferme costituiscono lo statore;

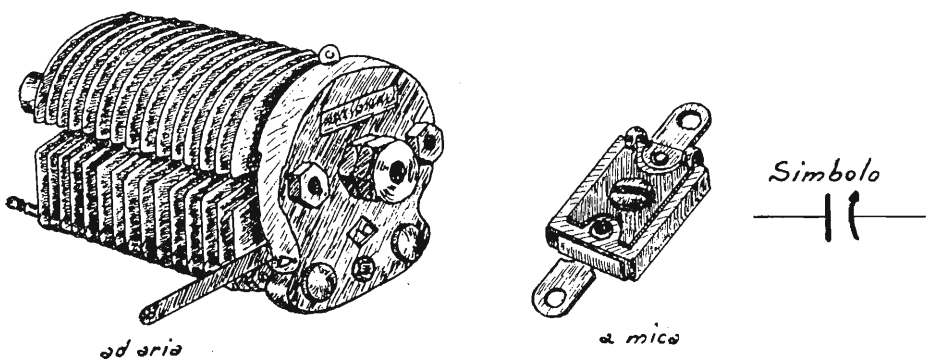


FIG. 17. - Condensatori « Trimmers ».

le placche che si muovono il rotore. Se parecchi condensatori variabili sono connessi ad un albero comune, cosicchè tutti possono essere contemporaneamente controllati, l'insieme è conosciuto con il nome di condensatore multiplo. La gamma di capacità dei condensatori variabili ad aria si estende da pochi a parecchie centinaia di micromicrofarad. Un gruppo tipico di condensatori variabili è indicato dalla figura 18 insieme ai simboli appropriati per questo elemento di circuito.

h) Il principio di funzionamento dei *condensatori di passaggio* (o di fuga) e *di blocco* (o di arresto) è importante per comprendere l'azione di un condensatore, in un circuito qualunque. Benchè un condensatore, per effetto delle proprietà isolanti del suo dielettrico, non permetta il passaggio della corrente continua, esso farà passare la corrente alternata poichè il condensatore si carica

e scarica in accordo con la frequenza della tensione alternativa applicata. Più alta è la frequenza e più bassa è la reattanza e pertanto più grande è la corrente che attraversa il condensatore. Que-

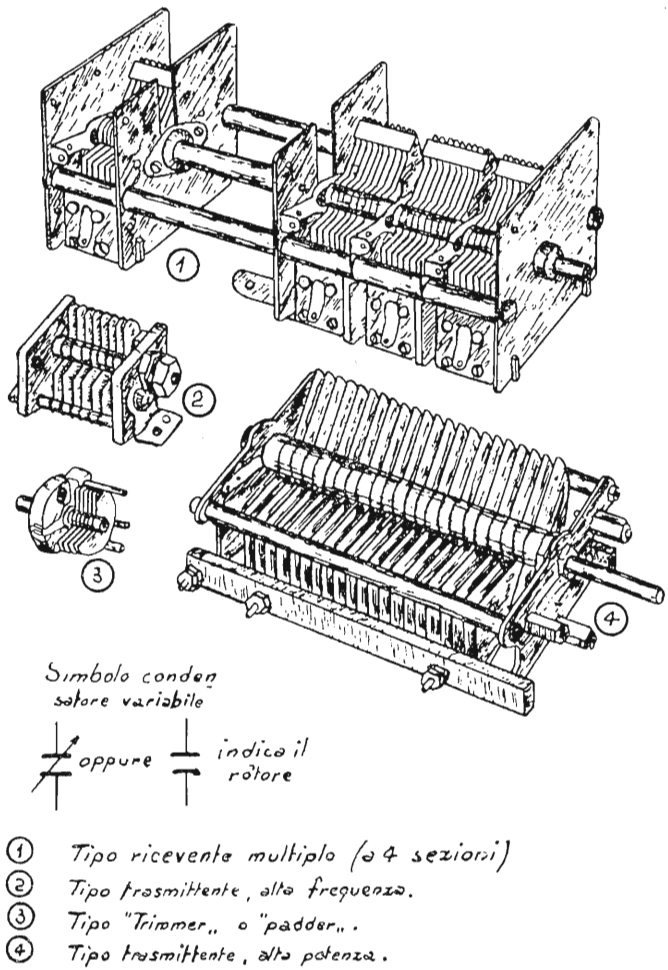


FIG. 18 - Condensatori variabili tipici.

sto effetto è giusto l'opposto di quello della bobina di arresto, che fa passare la corrente continua ma presenta un'alta reattanza alla corrente alternativa. In certi circuiti, la corrente alternata non

deve attraversare un particolare elemento di circuito. Connettendo un condensatore ai capi (in parallelo) di quell'elemento, si forma un cammino di basso impedimento per la corrente alternata; questo cammino dà passaggio alla corrente alternata che scavalca così l'elemento, mentra la corrente continua o le correnti alternate a bassa frequenza debbono attraversare l'elemento. In altri casi, la corrente continua non deve attraversare una particolare parte del circuito. Allora un condensatore è connesso in serie con il circuito che blocca la corrente continua, mentre offre un passaggio relativamente privo di opposizione alla corrente alternata.

i) Le prefissate tensioni di lavoro dei condensatori hanno la stessa importanza delle prefissate potenze di dissipazione dei resistori. Oltre che dalle loro capacità, i condensatori sono caratterizzati dalla loro tensione di lavoro, che è la tensione di funzionamento massima di sicurezza per il condensatore. In nessuna circostanza un condensatore può essere usato in un circuito nel quale la tensione possa eccedere la prestabilita tensione di lavoro. La regola di sicurezza da seguire, quando deve essere sostituito un condensatore difettoso in un apparecchio radio, è quella di usare un condensatore con tensione di lavoro che sia almeno una volta e mezza più grande della più alta tensione che ci si può attendere dal circuito.

14. Calcolazioni delle capacità.

a) Per eseguire in campagna delle riparazioni comportanti la sostituzione dei condensatori, è necessario saper determinare la capacità dei condensatori connessi in serie e in parallelo, poichè, come nel caso dei resistori, un condensatore che abbia esattamente il giusto valore può non essere disponibile.

b) Per i condensatori in serie, la capacità totale si trova esattamente con la stessa regola che si applica per i resistori in parallelo.

$$\frac{1}{C_{(\text{totale})}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots$$

dove C_1, C_2, C_3, ecc. sono le capacità singole.

La tensione di lavoro per un gruppo di condensatori in serie è uguale alla *somma* delle tensioni di lavoro dei singoli condensatori.

c) Per i condensatori in parallelo, la capacità totale si trova sommando le capacità dei singoli condensatori. Questa è la stessa regola che vale per i resistori in serie.

$$C \text{ (totale)} = C_1 + C_2 + C_3 + ..$$

La tensione di lavoro della combinazione di condensatori in parallelo è uguale a quella del condensatore che ha la *più bassa* tensione di lavoro.

15. **Funzionamento degli elementi dei circuiti.**

a) Continuando nello studio delle proprietà individuali e delle caratteristiche dei tre elementi di circuito, resistenza induttanza e capacità, sarà ora mostrato come questi elementi operino in un effettivo circuito. La figura 19 mostra un circuito contenente tutti e tre gli elementi, cosi disposti che se è chiuso il commutatore *S*–1, una tensione continua sarà applicata al circuito, e se è chiuso il commutatore *S*–2, una tensione alternativa sarà applicata al circuito. Il simbolo di *massa* mostrato sul diagramma indica che i punti del circuito contraddistinti da questo simbolo sono connessi all'intelaiatura metallica sulla quale il circuito è costruito. Pertanto, tutti i punti che portano il simbolo di massa sono effettivamente connessi insieme (via metallo dell'intelaiatura). Questo simbolo di massa è usato frequentemente negli schemi dei circuiti per indicare che una parte od un elemento del circuito è connesso all'intelaiatura. Il simbolo non vuol dire che necessariamente la parte del circuito è effettivamente connessa ad una massa di terreno, benchè esso sia qualche volta usato in questo modo nei circuiti dei trasmettitori e dei ricevitori, come sarà mostrato in seguito.

b) Studiando il circuito di figura 19, si vede che vi sono tre possibili cammini che la corrente può percorrere. Il primo è attraverso il resistore R_1 che ritorna attraverso la massa (o intelaiatura)

alla sorgente di potenza utilizzata; il secondo è attraverso il condensatore C_1 ed il resistore R_2 che ritorna a massa; il terzo è attraverso l'induttore L ed il resistore R_3 che ritorna pure a massa. Assumiamo che l'induttore L abbia una grande induttanza ed il condensatore C_1 abbia una grande capacità. Da notare che i tre cammini sono in parallelo.

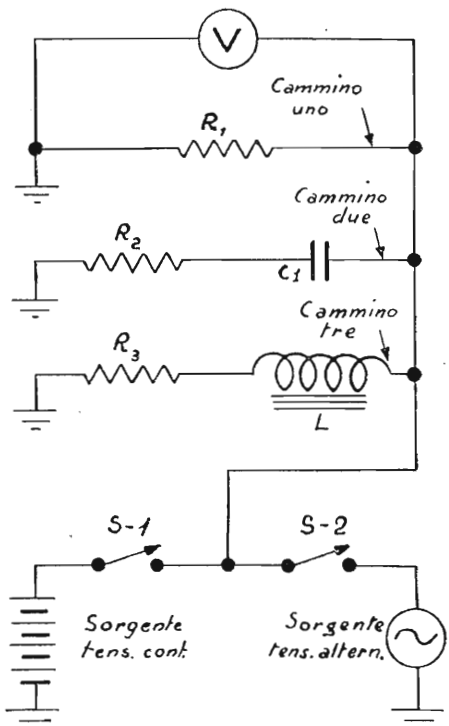


FIG. 19 - Funzionamento degli elementi dei circuiti.

c) Il primo passo nello studio di questo circuito è di chiudere l'interruttore S–1, applicando così una tensione continua al circuito. La corrente attraverserà R_1, primo cammino; il valore di corrente che si avrà in questo circuito dipende dalla sua resistenza. Non passerà corrente nel secondo cammino poichè il dielettrico del condensatore C_1 agisce come un isolatore e quindi il conden-

satore non farà passare corrente continua. Benchè nel secondo cammino non fluisca corrente, il voltmetro V, che è connesso in parallelo a tutti e tre i cammini, indica che vi è tensione presente ai capi del gruppo R_2 e C_1. Inoltre se il voltmetro fosse connesso direttamente ai capi di C_1, avremmo la indicazione dello stesso valore di tensione, poichè non vi è flusso di corrente in questo cammino e conseguentemente non vi è caduta di tensione attraverso R_2. Questo esempio mostra che è possibile avere presente una tensione in un circuito, *pur essendo il circuito aperto* (cioè, senza essere percorso da corrente). Una corrente fluirà nel terzo cammino, poichè, in questa branca di circuito, la sola opposizione alla corrente è data dalla resistenza in corrente continua dell'avvolgimento della bobina e della resistenza del resistore R_3. Il valore della corrente sarà determinato dalla resistenza totale presentata da questo cammino e cioè alla somma delle resistenze in corrente continua di L e della resistenza di R_3.

d) Il passo successivo nello studio di questo circuito si esegue aprendo l'interruttore S–1 e chiudendo l'interruttore S–2, con il che si applica una tensione alternativa al circuito. Quando ciò è fatto, una corrente attraverserà il resistore R_1 del primo cammino. Poichè un resistore offre la stessa opposizione sia alla corrente alternata che a quella continua, la corrente che fluisce in questo cammino sarà la stessa a parità di tensione applicata, sia questa continua che alternativa. Nel secondo cammino, comprendente il condensatore C_1 (che ha un grande valore di capacità) ed il resistore R_2, le condizioni saranno simili a quelle del primo cammino. Per effetto della sua grande capacità C_1 presenterà una piccola reattanza al flusso di corrente in questa branca di circuito. Pertanto, l'impedenza di questo secondo cammino, ossia l'opposizione totale al flusso della corrente alternata, essendo dovuta sia alla piccola reattanza che alla resistenza, sarà, per tutti gli scopi pratici, uguale circa alla resistenza di R_2. Nel terzo cammino del circuito, l'induttore L ha un tale grande valore di induttanza che esso presenterà un'alta reattanza al flusso della corrente alternata. L'impedenza di questo cammino, che è dovuta sia alla grande

reattanza che alla resistenza, sarà così alta che la corrente che fluisce attraverso R_3 ed L sarà estremamente piccola.

e) Per sommare gli effetti degli elementi dei circuiti dovuti all'applicazione sia della tensione alternativa che di quella continua, occorre chiudere contemporaneamente entrambi gli interruttori. Si avranno allora i seguenti importanti risultati: nel cammino uno fluirà sia la corrente alternata che quella continua; nel cammino due finirà solo la corrente alternata; nel cammino tre, fluiranno una corrente continua di valore relativamente grande ed una corrente alternativa di valore molto piccolo. Come si vede da questo studio, quando sono applicate in un circuito una tensione alternativa e una tensione continua, la corrente, sia alternativa che continua, può essere permessa, fermata o limitata scegliendo opportunamente gli elementi del circuito.

16. Dispositivi ad audiofrequenza.

a) Gli strumenti ed i dispositivi impiegati per cambiare le onde sonore in frequenze (audio) elettriche e viceversa sono parti importanti dei complessi radio trasmittenti e riceventi.

b) Un *microfono* è un elemento di circuito impiegato per convertire energia sonora (acustica) in energia elettrica (audio). I vari tipi di microfoni sono denominati in base ai metodi impiegati per questa conversione. Così vi sono microfoni a carbone, a condensatore, dinamici, a velocità e a cristallo.

Il *microfono a carbone* utilizza la variazione di resistenza fra granuli di carbone lascamente impacchettati (dovuta alla pressione sonora o acustica su un diaframma) per variare la corrente elettrica a frequenza audio. Il microfono militare americano T–17 è mostrato dalla figura 20. I *microfoni a condensatore* operano sul principio che l'energia sonora produce una variazione nell'intervallo fra due placche facendole comportare in modo simile ad un condensatore variabile: la risultante variazione di capacità (dovuta al movimento in dentro ed in fuori delle placche) determina una variazione elettrica a frequenza audio. I *microfoni dinamici* impie-

gano una bobina di bassa impedenza accoppiata meccanicamente ad un diaframma; le onde sonore fanno muovere il diaframma e la bobina, il movimento della bobina in un campo magnetico dà origine a correnti nella bobina ad audiofrequenze.

Il *microfono a velocità* opera pure sul principio elettromagnetico ma impiega un nastro di dural (una lega metallica) sospeso fra i poli di un potente magnete. Quando il nastro è messo in vibrazione dall'energia acustica, esso taglia le linee di forza e una corrente, che varia in accordo con le onde sonore, è indotta nel nastro.

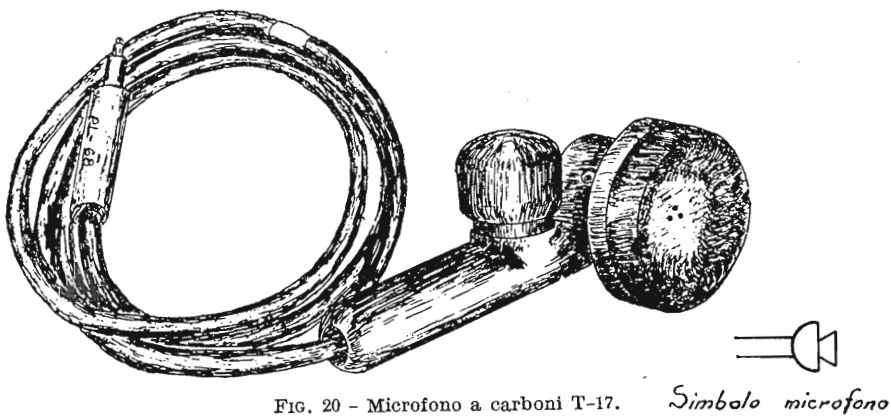


FIG. 20 - Microfono a carboni T-17.

Un tipo di *microfono a cristallo* impiega un cristallo di sale di Rochelle connesso ad un diaframma. Quando le onde sonore fanno muovere il diaframma, il cristallo vibra e produce delle tensioni alternative fra gli elettrodi del cristallo aventi le frequenze delle onde sonore. Tutti i tipi di microfoni menzionati (ad eccezione di quello a cristallo) richiedono o l'uso di qualche sorgente di corrente o un campo magnetico o una tensione polarizzante.

c) *Cuffie e altoparlanti.* — Sono elementi di circuito impiegati per convertire l'energia elettrica (ad audiofrequenza) in energia sonora. In generale, la cuffia o l'altoparlante ha funzione opposta a quella di un microfono. Quando delle correnti variabili (ad audiofrequenza) percorrono gli avvolgimenti del magnete permanente di un ricevitore a cuffia, il diaframma vibra in accordo con queste

correnti e produce così delle onde sonore di intensità proporzionale alle variazioni di corrente. Una cuffia tipica è mostrata dalla figura 21, insieme al relativo simbolo circuitale. Un tipo di altoparlante lavora sullo stesso principio della cuffia, ma invece di

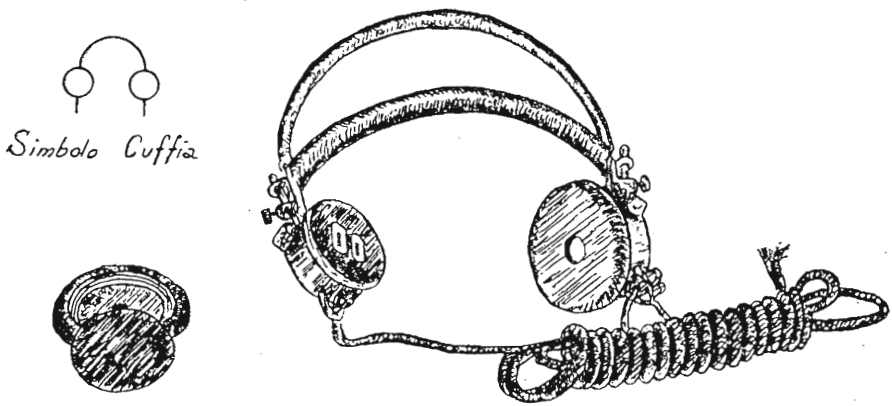


FIG. 21 - Cuffia.

un diaframma metallico, l'altoparlante impiega un cono di carta, mosso da una piccola armatura, per creare le onde udibili. La figura 22 mostra un altoparlante di questo tipo rimosso dal suo involucro.

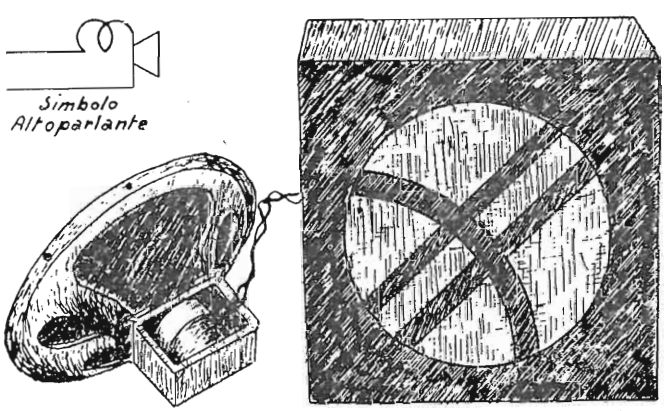


FIG. 22 - Altoparlante a magnete permanente e sua custodia.

17. **Isolatori.**

In aggiunta ai materiali metallici che conducono l'elettricità molto facilmente (come il rame ed il ferro), è spesso necessario disporre di altri materiali che presentino un'altissima resistenza al passaggio della corrente per impedire all'elettricità di sfuggire dai punti in cui sono necessari dei sostegni fisici. Tali materiali si chiamano *isolatori*. Mentre non esiste un isolatore perfetto, vi sono dei materiali come la porcellana, il vetro e i materiali ceramici che praticamente impediscono qualunque dispersione. È importante notare che isolatori, che sono soddisfacenti nel campo delle correnti forti, possono non esserlo per le applicazioni radiotecniche. Nei circuiti radio che operano con microwatt di energia, una debolissima corrente di dispersione ha effetti sensibili. Le barre dielettriche che isolano le placche dello statore dall'intelaiatura di un condensatore ad aria variabile debbono essere mantenute pulite per impedire qualunque dispersione. Qualunque leggera dispersione di corrente sulle superfici degli isolatori come nelle basi o zoccoletti dei tubi, ha pure effetti molto importanti. In generale, è bene mantenere gli isolatori radio lontani da forti campi elettrici, asciutti e puliti.

18. **Simboli.**

a) Non è pratico mostrare i diagrammi dei circuiti radio nella forma di fotografie, poichè sarebbe messa in evidenza soltanto la parte esterna dei componenti mentre resterebbero oscuri i particolari interni. Nei diagrammi schematici dei circuiti radio si adottano simboli speciali per rappresentare i vari elementi e le parti dei circuiti, in modo da semplificare i disegni. I simboli per i vari tipi di resistori, induttori e condensatori sono già stati introdotti ed una lista di simboli comunemente usati è data dalla Tabella V. Lo studente deve riferirsi a questa lista se ha dei dubbi nella identificazione di una parte o elemento di circuito.

b) I simboli più comuni spiegano sè stessi dalla propria apparenza, ma qualcuno può creare confusione. Un tratto con freccia,

per esempio, può avere vari significati. All'estremità di una linea che sembra prolungarsi oltre il diagramma schematico, la freccia significa che ancora vi sono altre parti di circuiti non rappresentati dallo schema in osservazione. Le frecce lungo le linee del circuito possono indicare la direzione della corrente attraverso gli apparati. Se la punta della freccia si arresta contro un pezzo di equipaggiamento, ciò probabilmente vuol significare che vi è un contatto regolabile o aggiustabile. Finalmente, una freccia tracciata diagonalmente lungo un qualunque altro simbolo significa che il dispositivo è regolabile lentamente e con continuità come, per esempio, un resistore variabile o un induttore variabile.

CAPITOLO III

CIRCUITI ACCORDATI

19. Generalità.

a) I *circuiti accordati* sono combinazioni di elementi di circuiti così disposti da produrre un desiderato effetto nel circuito radio. Sia i trasmettitori che i ricevitori si basano sui circuiti accordati per il loro funzionamento sulla frequenza desiderata. E se non fosse per i circuiti accordati operanti in congiunzione con i tubi a vuoto la radio moderna non sarebbe possibile.

b) Nei ricevitori radio i circuiti accordati sono necessari non soltanto per la scelta dei segnali desiderati, ma pure per respingere i segnali indesiderati. L'abilità di un ricevitore nello scegliere una frequenza desiderata scartando le frequenze indesiderate si chiama *selettività*. La selettività di un complesso ricevente dipende completamente dall'appropriato funzionamento dei suoi circuiti accordati. Se i circuiti accordati non operassero appropriatamente, se essi fossero accordati in modo errato, o se una parte qualunque di essi fosse difettosa, allora la *sensibilità* del complesso (abilità a ricevere segnali deboli) sarebbe considerevolmente ridotta oppure il ricevitore non funzionerebbe affatto.

c) Nei trasmettitori radio, non soltanto è dovuto ai circuiti accordati la possibilità di funzionamento sulla desiderata frequenza, ma l'intero processo di generazione e amplificazione di potenza a radiofrequenza è dipendente dal funzionamento appropriato dei circuiti accordati.

Se i circuiti accordati di un trasmettitore radio non operano appropriatamente per difetto di una loro parte costitutiva o perchè accordati in modo non corretto, la potenza d'uscita del trasmettitore (e conseguentemente la portata della trasmissione) sarà considerevolmente ridotta o addirittura il trasmettitore diverrà completamente inattivo.

20. Curve e grafici.

Nella radiotecnica, le curve ed i grafici sono largamente impiegati per mostrare il funzionamento delle parti dei circuiti, giacchè con una singola curva o grafico si potrà spiegare il funzionamento della parte o del circuito in modo più semplice di una lunga descrizione con parole. Una curva od un grafico dà un'immagine di ciò che si verifica per il valore di una quantità di un circuito con il variare del valore di un'altra quantità. Nella radiotecnica, le curve ed i grafici possono mostrare la tensione di un circuito in relazione alla frequenza, la tensione di un circuito in relazione alla corrente, ecc. Per esempio, nel capitolo II è stato mostrato che la reattanza di un condensatore decresce con l'aumentare della frequenza di funzionamento. Questa relazione può essere mostrata con un grafico, come illustrato dalla figura 23. Ciascun punto di

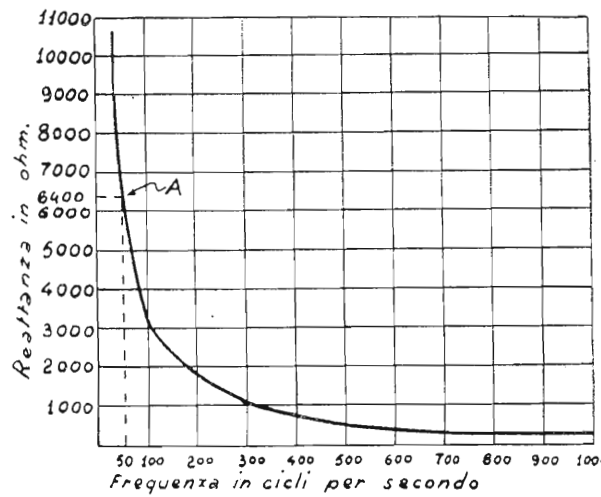


FIG. 23 - Grafico mostrante la reattanza di un condensatore di 0,5 Mf. da 30 a 1000 cicli/sec.

questo grafico mostra il valore della reattanza del condensatore per una differenza di frequenza. Il punto *A* mostra che la reattanza del condensatore è di circa 6.400 ohm alla frequenza di

50 cicli per secondo. I grafici saranno estensivamente impiegati in questo capitolo per indicare quello che si verifica nei circuiti accordati.

21. Resistenza, reattanza e impedenza.

a) Un resistore presenta la stessa resistenza sia al flusso della corrente alternata che di quella continua. L'opposizione offerta al flusso della corrente alternata dagli induttori e dai conduttori è chiamata reattanza. Se un circuito contiene sia resistenza che reattanza, l'opposizione totale offerta al flusso della corrente alternata è chiamata la *impedenza* del circuito. L'impedenza di un circuito è l'*effetto combinato della resistenza e della reattanza* di opposizione al flusso della corrente alternata. L'impedenza è misurata in ohm.

b) L'effetto della reattanza induttiva e di quella capacità sulla corrente e sulla tensione è molto importante nella radiotecnica. La reattanza induttiva, oltre ad aumentare con il crescere della frequenza, ha un altro effetto che gioca una parte importante nei circuiti accordati: essa non solo si oppone al flusso della corrente alternata, ma pure provoca un ritardo della corrente rispetto alla tensione applicata di una certa frazione di ciclo, come è indicato dalla figura 24. Se un circuito contiene soltanto reattanza induttiva la corrente ritarderà rispetto alla tensione esattamente di un quarto di ciclo, ossia di 90°. La reattanza capacitiva ha giusto l'effetto opposto: essa provoca un anticipo della corrente rispetto alla tensione di una frazione di ciclo, com'è indicato dalla figura 25. Se un circuito contiene soltanto reattanza capacitiva, la corrente anticiperà la tensione di 90°.

c) Invece di fare riferimento alle frazioni di ciclo, come mezzo ciclo o un quarto di ciclo, nella radiotecnica le parti di un ciclo sono espresse in gradi: un ciclo completo uguaglia 360°, mezzo ciclo è uguale a 180°, un quarto di ciclo è uguale a 90°, ecc.

Se due tensioni, oppure una tensione ed una corrente, non raggiungono in un circuito contemporaneamente i loro valori massimi e minimi, la differenza fra le due è espressa in gradi.

Questo effetto è chiamato *sfasamento* o differenza di *fase*. Per esempio, se la corrente in un circuito ritarda oppure anticipa la tensione di un quarto di ciclo, ossia di 90°, si dice che le quantità sono 90° fuori fase oppure che è uno sfasamento di 90°. Se la corrente e la tensione in un circuito raggiungono i loro valori massimi e minimi esattamente nello stesso istante, si dice che esse sono in fase.

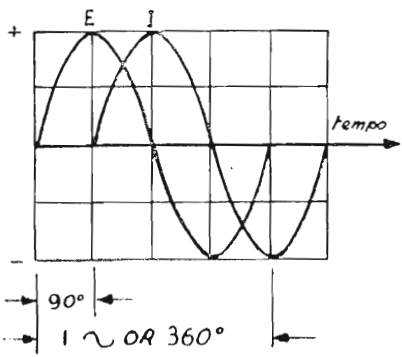


FIG. 24 - Effetto della reattanza induttiva.

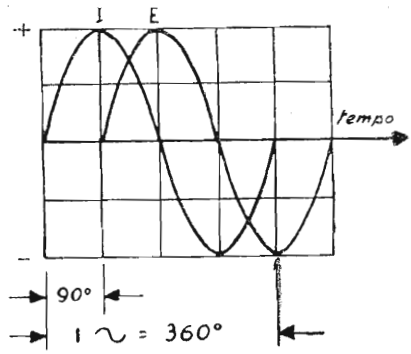


FIG. 25 - Effetto della reattanza capacitiva.

d) Poichè la reattanza induttiva provoca un ritardo di fase di 90° della corrente rispetto alla tensione e la reattanza capacitiva fa invece anticipare la corrente di 90°, si può dire che la differenza fra i due effetti è di 180° (ossia di mezzo ciclo). Poichè una metà di un ciclo è positiva e l'altra metà è negativa, la variazione di mezzo ciclo, ossia di 180°, rappresenterà un cambio di polarità. Pertanto, l'effetto della reattanza induttiva può essere considerato come *reattanza positiva* e la reattanza capacitiva può essere considerata come *reattanza negativa*.

22. Calcolazioni sulle reattanze.

a) Poichè la reattanza induttiva è proporzionale all'induttanza e alla frequenza, una semplice formula può essere usata per determinare la reattanza di una bobina:

$$X_L = 2 \pi f L$$

Dove:

X_L = valore della reattanza induttiva in ohm;
L = induttanza della bobina in henry;
f = frequenza in cicli per secondo;
2π = 6,28.

Esempio: Trovare la reattanza di una bobina di 5 henry alla frequenza di 60 cicli per secondo.

$= 6{,}28 \times 60 \times 5 = 1884$ ohm di reattanza induttiva.

Esempio: Trovare la reattanza di un'induttanza di 7 millihenry alla frequenza di 1.000.000 di cicli per secondo.

$= 6{,}28 \times 1.000.000 \times 0{,}006 = 37.700$ ohm di reattanza induttiva.

Sarà tenuto presente che l'induttanza espressa in sottomultipli dell'henry deve essere convertita in henry prima di sostituirla nella formula.

b) Poichè la quantità di energia immagazzinata in un condensatore (per una data tensione) è determinata dalla capacità effettiva del condensatore, l'importo totale di energia immagazzinata (e susseguentemente riceduta al circuito) in un secondo sarà più grande quando il condensatore è caricato molte volte per secondo che quando esso è caricato soltanto poche volte per secondo. Pertanto la corrente sarà proporzionale alla frequenza ed alla capacità del condensatore. La reattanza sarà pertanto inversamente proporzionale alla frequenza ed alla capacità. La formula per la reattanza capacitiva è:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

Dove:

X_c = valore della reattanza capacitiva in ohm;
C = capacità del condensatore in farad;
f = frequenza in cicli per secondo;
2π = circa 6,28.

Esempio: Trovare la reattanza capacitiva di un condensatore di 2 microfarad a 60 cicli per secondo.

$$X_c = \frac{1}{6{,}28 \times 60 \times 0{,}000002} = 1.330 \text{ ohm di reattanza capacitiva.}$$

23. Risonanza serie.

a) Se una bobina ed un condensatore sono connessi in serie con una sorgente a corrente alternata di frequenza variabile (fig. 26), la combinazione di queste parti costituisce un *circuito accordato in serie* o un *circuito risonante in serie*. Poichè in tale circuito gli avvolgimenti della bobina presentano un certo importo di resistenza, l'effetto di questa resistenza deve essere considerato nel funzionamento del circuito. Questa resistenza è indicata nella figura 26 come un resistore *R*. Se la sorgente di corrente alternata è posta ad una frequenza bassa, si trova che l'opposizione più grande della corrente del circuito è data dalla reattanza del condensatore *C* (poichè la reattanza capacitiva aumenta col diminuire della frequenza). Se la sorgente a corrente alternata è ad una frequenza alta, si trova che l'opposizione più grande alla corrente è data dalla reattanza dell'induttore *L* (poichè la reattanza induttiva aumenta con l'aumentare della frequenza). In altre parole, alle frequenze basse la reattanza del circuito è principalmente *capacitiva*, mentre alle frequenze alte la reattanza è principalmente *induttiva*.

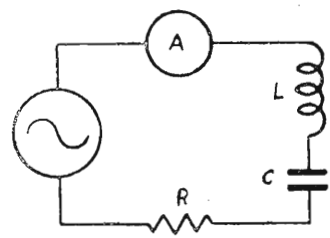


Fig. 26 - Circuito risonante serie.

b) A qualche frequenza fra gli estremi di alta e bassa frequenza, la reattanza induttiva sarà uguale alla reattanza capacitiva. Questa frequenza è chiamata la *frequenza di risonanza* del circuito, e si dice che il circuito serie è accordato a questa frequenza. Poichè la reattanza induttiva nel circuito produce un effetto posi-

tivo e la reattanza capacitiva produce un effetto negativo, quando esse acquistano, alla frequenza risonante, uguale valore, si cancellano l'una con l'altra e pertanto la sola opposizione alla corrente nel circuito è quella offerta dal resistore *R*.

c) La corrente nel circuito serie di figura 26 può essere misurata a mezzo dell'amperometro *A*. Se la frequenza della sorgente è accresciuta gradualmente da un basso ad un alto valore, la corrente aumenterà rapidamente fino a che essa raggiunge un valore massimo alla frequenza risonante, ed allora rapidamente decresce, come mostrato dal grafico di figura 27.

d) Poichè il flusso di corrente in un circuito è determinato dalla impedenza del circuito, l'impedenza di un circuito accordato serie è al suo più basso o minimo valore alla frequenza di risonanza, e diviene più grande su entrambi i lati della frequenza risonante (*vedere* fig. 28).

e) Poichè la caduta di tensione attraverso ciascun elemento di circuito sarà proporzionale alla corrente che fluisce nel circuito e all'opposizione presentata da ciascun elemento alla corrente, e poichè la corrente che fluisce in un circuito serie è massima alla frequenza risonante, la tensione che appare ai capi di ciascun elemento di circuito sarà la più grande alla risonanza. Benchè le cadute ai capi della bobina e del condensatore del circuito serie di figura 26 sono uguali in valore ed opposte in polarità alla frequenza di risonanza (e così si cancellano fra di loro per quanto ha attinenza al voltaggio totale del circuito), ciascuna di queste tensioni, prese singolarmente, è molto alta. Ciascuna di esse può essere impiegata per far funzionare altri circuiti radio (tali come i circuiti dei tubi a vuoto), poichè un segnale molto forte (amplificazione) può essere ottenuto alla frequenza di risonanza. Questa amplificazione di tensione dei segnali radio alla frequenza particolare a cui il circuito è risonante è uno degli effetti più importanti dei circuiti accordati.

f) Un circuito è alla risonanza quando la reattanza induttiva ha lo stesso valore della reattanza capacitiva. Se si cambia il valore o della bobina o del condensatore, cambia pure la frequenza di

risonanza del circuito. Se è accresciuta la capacità o l'induttanza oppure se entrambe sono accresciute contemporaneamente, la frequenza di risonanza diminuisce. Inversamente, se è diminuita la capacità o l'induttanza, oppure se sono diminuite contemporaneamente entrambe, la frequenza di risonanza è aumentata. Pertanto, facendo o l'induttore o la capacità variabile nel circuito, il circuito stesso può essere accordato (o messo in risonanza) per una larga gamma di frequenze. I limiti della gamma di frequenze entro cui il circuito può essere accordato dipendono dal valore del-

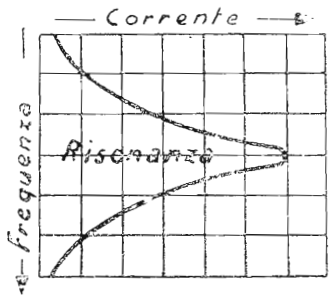


FIG. 27 - Corrente nel circuito risonante serie.

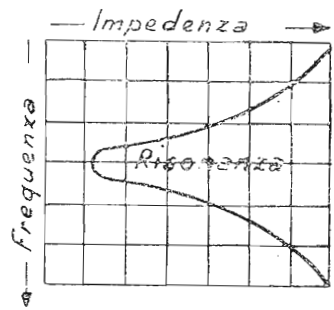


FIG. 28 - Curva di impedenza nel circuito risonante serie.

l'elemento fisso e dai valori massimo e minimo dell'elemento variabile. È usualmente più conveniente e più efficiente fare del condensatore l'elemento variabile in un circuito accordato. Per questa ragione i condensatori variabili insieme con bobine di induttanza fissa, costituiscono i circuiti accordati di praticamente tutti i moderni radio trasmettitori e ricevitori.

g) La resistenza presente in un circuito accordato risonante determina il valore della selettività di cui il circuito è capace. Le curve di risonanza per tre valori differenti di resistenza (R in fig. 26) sono mostrate nella figura 29. Queste sono dello stesso tipo di curva di quella mostrata dalla figura 27 in cui la corrente è determinata per i valori della frequenza intorno alla risonanza. Le curve di risonanza di figura 29 dimostrano la praticità di un circuito accordato quale dispositivo selettivo. La corrente che fluisce in un circuito accordato quando sono applicate ai suoi ter-

minali varie tensioni di valori uguali ma di frequenze differenti, è composta principalmente di frequenze uguali o molto vicine a quella di risonanza del circuito. Con l'aggiunta di resistenza al circuito, è ottenuta una curva di risonanza (o di risposta) del circuito avente valori di correnti minori e tendenti ad una maggiore uniformità. Pertanto la resistenza nel circuito ha l'effetto di ridurre la selettività. Può pure dimostrarsi che l'effetto di resistenza in parallelo sia ai capi dell'induttore che a quelli del condensatore,

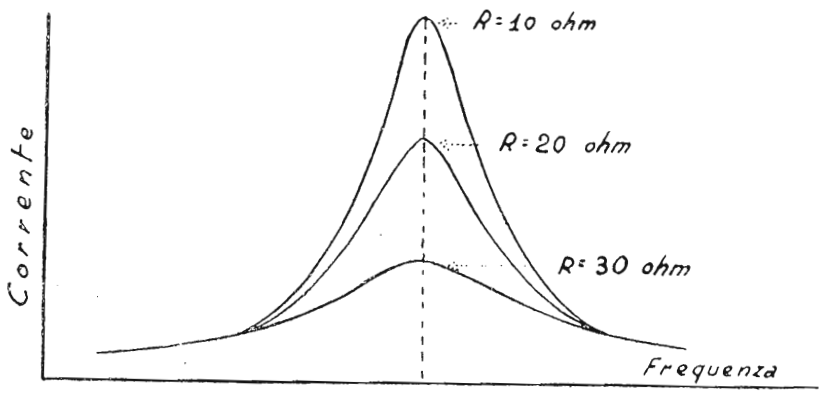


FIG. 29 - Curve di risonanza mostranti l'effetto di appiattimento della resistenza serie.

determina similmente una riduzione di selettività. In alcuni casi, elementi di resistenza sono deliberatamente introdotti in un circuito radio allo scopo di allargare la gamma di frequenze cui il circuito possa rispondere, benchè generalmente la resistenza inerente al circuito è più che sufficiente per questo scopo.

h) I circuiti accordati serie sono spesso usati nei sistemi di antenna dei trasmettitori e dei ricevitori. Essi sono particolarmente convenienti per i requisiti cui debbono soddisfare le antenne dei trasmettitori, poichè queste sono attraversate alla risonanza da una corrente massima. Ciò significa che la massima corrente percorrerà l'antenna alla desiderata frequenza di funzionamento e conseguentemente vi sarà un massimo di radiazione di potenza a questa frequenza. I circuiti accordati serie sono pure usati come elementi di filtro (*vedere* paragr. 26).

24. **Risonanza parallelo.**

a) Se una bobina ed un condensatore sono connessi in parallelo (fig. 30), la combinazione delle parti è chiamata un *circuito accordato parallelo* od un *circuito risonante parallelo*. Come nel circuito accordato serie di figura 26, la resistenza presente nel circuito dovuta agli elementi circuitali è indicata nel diagramma con il resistore R. Poichè la bobina ed il condensatore del circuito accordato parallelo sono entrambi connessi ai capi della linea, partendo dalla sorgente di corrente alternata a frequenza variabile, vi sono due cammini attraverso cui la corrente può finire: un cammino attraverso la bobina, ed un cammino attraverso il condensatore. Se la sorgente di corrente alternata è portata ad una frequenza bassa, la maggior parte della corrente attraverserà la bobina, poichè la reattanza della bobina sarà piccola per le correnti alternate e la reattanza del condensatore sarà invece alta. Se la sorgente di corrente alternata è portata ad una frequenza alta, la maggior parte della corrente attraverserà il condensatore, poichè la sua reattanza sarà piccola per le alte frequenze mentre la reattanza della bobina sarà alta.

b) Alla frequenza di risonanza, giusto come nel caso del circuito accordato serie, la reattanza del condensatore C sarà uguale alla reattanza dell'induttore L. Tuttavia, a differenza del circuito serie, poichè i due elementi circuitali sono in parallelo, la corrente che attraversa la reattanza induttiva (bobina L) sarà opposta in polarità alla corrente che attraversa la reattanza capacitiva (condensatore C). Poichè alla frequenza di risonanza la reattanza induttiva è uguale alla reattanza capacitiva, le correnti che attraversano le due reattanze avranno uguale valore ma saranno di polarità opposta e conseguentemente si cancellano fra di loro.

c) La corrente che attraversa il circuito parallelo di figura 30 può essere misurata con l'amperometro A. Se la sorgente di frequenza è variata da un valore di frequenza bassa ad un valore di frequenza alta passando attraverso la frequenza di risonanza, la corrente decrescerà rapidamente dal suo valore più alto, corrispon-

dente al valore di frequenza bassa, ad un minimo alla frequenza di risonanza e quindi aumenterà ancora fino a raggiungere il più alto valore in corrispondenza del valore di alta frequenza, come è indicato nel grafico di figura 31.

d) La corrente di linea è la differenza fra la corrente che attraversa la branca induttiva e quella capacitiva del circuito, come indicato dal grafico di figura 32. Data la presenza di una certa resistenza, le due correnti di branca non possono cancellarsi completamente fra di loro. Benchè la corrente di linea possa essere

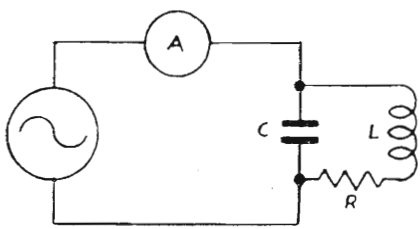


FIG. 30. - Circuito risonante parallelo.

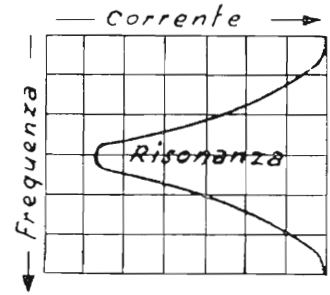


FIG. 31 - Corrente nel circuito risonante parallelo.

molto piccola, la corrente circolante fra la bobina ed il condensatore può essere molto grande.

e) Poichè la corrente totale, ossia la corrente di linea, in un circuito parallelo risonante è minima alla frequenza di risonanza, l'impedenza del circuito (ossia l'opposizione totale al flusso di corrente) avrà un massimo alla risonanza e decrescerà su ciascun lato della frequenza di risonanza, come indicato dal grafico di figura 33.

f) La selettività di un circuito accordato parallelo è inversamente proporzionale alla resistenza di ciascuna branca del circuito; cioè aumentando la resistenza in ciascuna branca del circuito diminuisce la selettività.

g) Per una data frequenza del generatore a corrente alternata in un circuito come quello mostrato dalla figura 30, una variazione

del condensatore C è accompagnata da una variazione dell'indicazione dell'amperometro (corrente di linea) poichè varia l'impedenza del circuito. Il minimo di corrente nella linea indica che vi è un massimo di corrente circolante entro il circuito accordato parallelo. Un circuito risonante parallelo in un trasmettitore radio è accordato in questo modo, ossia dall'indicazione di un minimo nella lettura dell'amperometro.

h) L'impedenza dei circuiti accordati paralleli è molto alta alla frequenza di risonanza e bassa a tutte le altre frequenze. Per

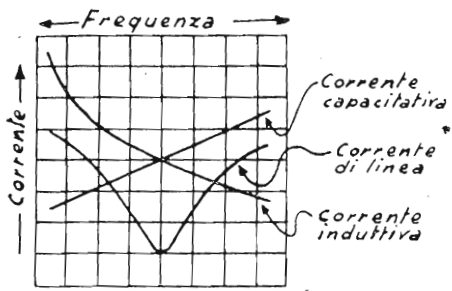


FIG. 32 - Corrente nelle branche del circuito risonante parallelo.

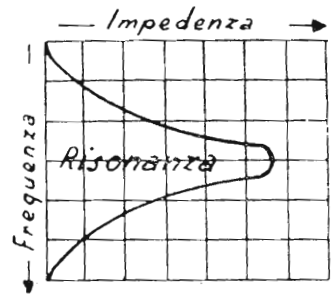


FIG. 33 - Curva d'impedenza nel circuito risonante parallelo.

questa ragione, essi sono usati con i tubi a vuoto per generare, rivelare o amplificare segnali di una data frequenza. I tubi a vuoto sono comparativamente dispositivi di alta impedenza e per un appropriato funzionamento debbono essere connessi a circuiti di alta impedenza, tale come i circuiti accordati parallelo. I circuiti risonanti parallelo sono pure usati come filtri (paragr. 26). Un terzo importante impiego del circuito accordato parallelo è basato sul principio del circuito « serbatoio » impiegato nei trasmettitori radio.

25. **Principio del circuito « Serbatoio ».**

a) Se il condensatore in un circuito accordato parallelo è caricato a mezzo di una batteria (corrente continua) e la batteria è

successivamente disconnessa, una corrente alternata di brevissima durata sarà generata alla risonanza del circuito.

b) Questa corrente viene prodotta nei seguenti modi:

1) Il condensatore si scaricherà nell'induttore facendo fluire in esso una corrente. Questa corrente crea un campo magnetico attorno all'induttore.

2) Quando il condensatore si è scaricato, la corrente cessa ed il campo sparisce.

3) Una tensione, di tale polarità da determinare il persistere della corrente nella stessa direzione, è indotta nella bobina.

4) Questa corrente fluendo nel condensatore lo carica ad una tensione avente polarità opposta a quella della carica originale della batteria. Il condensatore si carica allora nella direzione opposta attraverso l'induttore ed il processo si ripete.

5) Riepilogando: l'energia del circuito proveniente in origine dalla batteria, è prima immagazzinata nel condensatore quale carica e successivamente trasferita nel campo magnetico dell'induttore. Questa corrente è alternativa, poichè essa inverte la sua direzione alla frequenza di risonanza del circuito accordato.

c) Questo processo si ripeterà indefinitamente se il circuito non presenta resistenza. Ma, poichè tutti i circuiti presentano della resistenza, sia pure piccola, il procedimento continuerà soltanto sino a che l'energia che era stata fornita al circuito sia stata dissipata, o consumata, dalla resistenza del circuito.

d) Per poter produrre delle correnti alternate persistenti è necessario soltanto fornire, in tale circuito accordato parallelo, una potenza sufficiente a sovrabilanciare le perdite dovute alla sua resistenza. È possibile fare ciò in certi circuiti associati con tubi a vuoto impiegati nei trasmettitori, come sarà spiegato più tardi. Le correnti alternate generate in tali circuiti serbatoio accordati in parallelo, sono chiamate *correnti oscillanti*. Poichè tale circuito accordato parallelo può immagazzinare potenza per un certo periodo di tempo, esso è chiamato circuito « serbatoio ».

26. **Filtri.**

a) I filtri sono impiegati per selezionare energia a certe desiderate frequenze e per non far passare energia a frequenze indesiderate. I condensatori e gli induttori conferiscono delle proprietà ad un circuito che li rendono convenienti per essere impiegati sia singolarmente, sia in combinazione fra di loro nei filtri a larga gamma di frequenza. I filtri passa basso e quelli passa alto sono degli esempi di questo tipo.

b) I condensatori e gli induttori presentano individualmente una caratteristica di frequenza avente una certa gamma di discriminazione. Gli induttori tendono a far passare le correnti alternate a frequenze alte e ad ostacolare le basse frequenze. Questo effetto di ritardo o di ostacolo è chiamato attenuazione. La figura 34 rappresenta graficamente il comportamento dei circuiti serie al passaggio delle correnti in corrispondenza a vari potenziali applicati.

La discriminazione caratteristica di frequenza di grandi e piccoli condensatori è mostrata per quattro differenti tipi di segnali d'ingresso: audiofrequenza, radiofrequenza, audiofrequenza e radiofrequenza, audiofrequenza e radiofrequenza con componente di corrente continua. Saranno notate le attenuazioni di alcune di queste frequenze di ingresso. La resistenza in se stessa non fornisce alcuna azione filtrante perchè essa impedisce nella stessa misura a tutte le correnti di farsi attraversare, indipendentemente dalla frequenza. Tuttavia, minore è la resistenza in un circuito filtro, più acuta sarà la linea di separazione fra le frequenze che passano a quelle che sono bloccate o attenuate.

c) Un filtro *passa basso* è progettato per far passare tutte le frequenze inferiori ad una prestabilita frequenza critica o frequenza di taglio e riduce od attenua sostanzialmente le correnti di tutte le frequenze superiori a questa frequenza di taglio. Tale filtro è mostrato in figura 35 con un grafico di una caratteristica di taglio tipica. Il filtro passa basso farà passare pure la corrente continua e le correnti alternative di frequenze bassissime senza opposizione ed è pertanto largamente usato per filtrare o spianare

l'uscita degli alimentatori di potenza radio. Questa azione di spianamento è spiegata in modo più completo nel paragrafo 35 *c*).

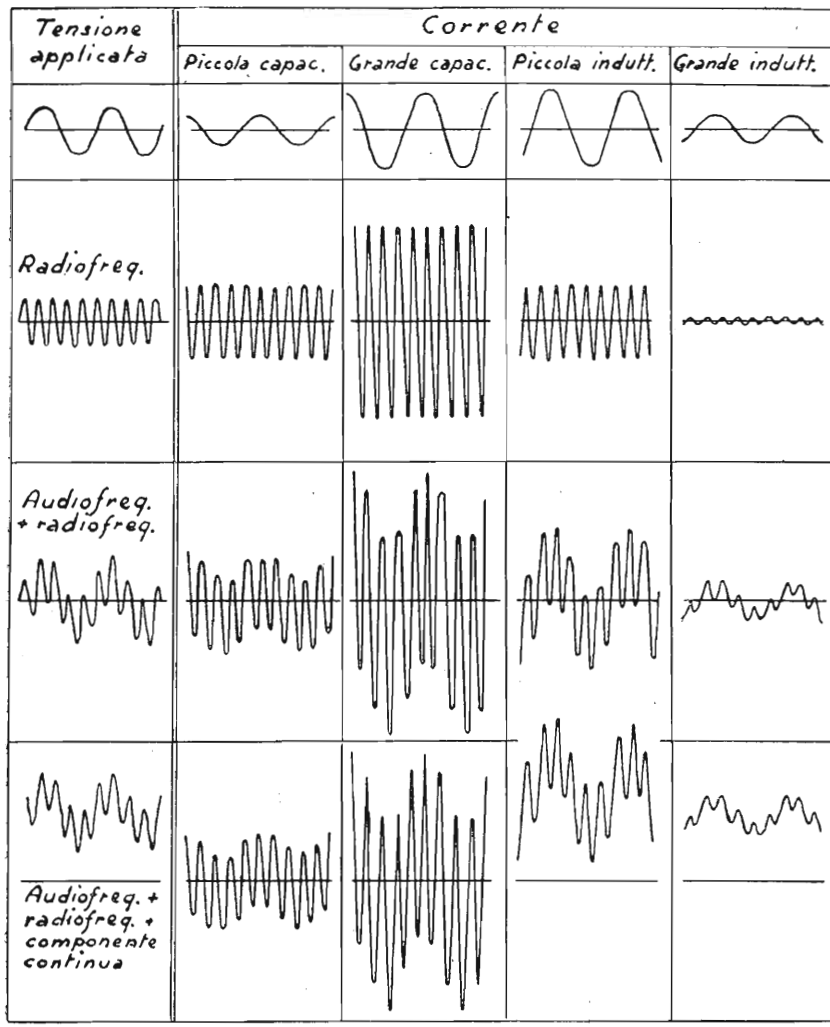


FIG. 34 - Azione filtro di singoli condensatori in serie e di singoli induttori in serie.

d) Un *filtro passa alto* è progettato per far passare correnti di tutte le frequenze superiori alla prestabilita frequenza di taglio,

e per ritardare od attenuare considerevolmente le correnti di tutte le frequenze inferiori a questa frequenza di taglio. L'induttore ed il condensatore del filtro passa basso sono stati semplicemente scambiati per formare il filtro passa alto (fig. 36). Poichè tutte le frequenze sotto quella d'interdizione sono grandemente attenuate, un filtro di questo tipo bloccherà la corrente continua.

e) I circuiti risonanti (accordati) presentano certe caratteristiche che li rendono ideali per un certo tipo di filtro, quando è desiderata una alta selettività. Un circuito risonante serie offre

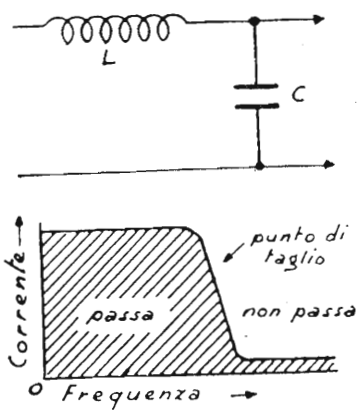


FIG. 35 - Filtro passa basso e caratteristica corrente-frequenza

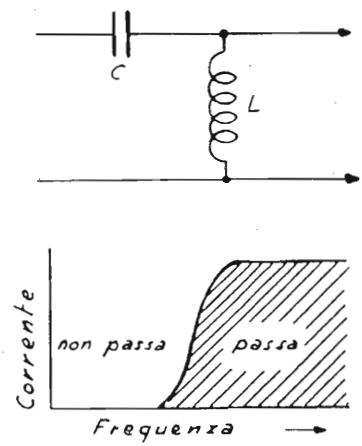


FIG. 36 - Filtro passa alto e caratteristica corrente-frequenza

una bassa impedenza alle correnti della particolare frequenza per la quale esso è accordato, ad una impedenza relativamente alta alle correnti di tutte le altre frequenze. Un circuito risonante parallelo, per contro, offre un'impedenza molto alta alle correnti della sua frequenza naturale o risonante ed una impedenza relativamente bassa a tutte le altre.

f) Un filtro passa banda è progettato per far passare correnti di frequenze comprese entro una banda continua, limitata da una frequenza di taglio inferiore e da una frequenza di taglio superiore e per attenuare o ridurre sostanzialmente tutte le frequenze sopra

e sotto la banda passante. Un filtro passa banda tipico è mostrato dalla figura 37, con un grafico illustrante la banda di frequenza che esso fa passare. I circuiti risonante serie e parallelo sono tutti accordati alla banda di frequenza desiderata. I circuiti accordati parallelo offrono un'alta impedenza alle frequenze comprese entro questa banda, mentre i circuiti accordati serie offrono piccolissima impedenza. Pertanto, queste frequenze desiderate comprese nella banda viaggeranno nel resto del circuito senza essere osta-

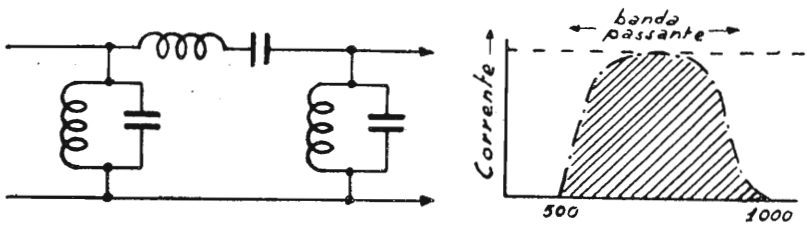


FIG. 37 - Filtro passa banda e sua caratteristica corrente.

colate; ma le correnti delle frequenze indesiderate, cioè le frequenze esterne alla banda, incontreranno un'alta impedenza e saranno bloccate.

g) Un *filtro ad eliminazione di banda* è progettato per sopprimere le correnti di tutte le frequenze comprese entro una banda continua, limitata da una frequenza di taglio superiore e da una frequenza di taglio inferiore e per far passare tutte le frequenze sopra e sotto questa banda. Tale filtro ad eliminazione di banda è mostrato dalla figura 38, con un grafico relativo alla sua caratteristica di frequenza. Questo tipo di filtro è giusto l'opposto del filtro passa banda; le correnti di frequenza comprese entro la banda sono bloccate. I due circuiti accordati serie ed il circuito risonante parallelo sono tutti accordati alla banda di frequenza desiderata. Il circuito accordato parallelo offre un'alta impedenza a questa banda di frequenza soltanto, ed i circuiti accordati serie offrono piccolissima impedenza; pertanto, i segnali compresi entro la banda di frequenza sono bloccati. Tutte le altre frequenze,

e cioè tutte le frequenze esterne alla banda, passano attraverso il circuito parallelo che offre piccola impedenza.

h) Una *trappola d'onda*, qualche volta impiegata nei circuiti di antenna dei ricevitori radio, è una forma di filtro ad elimina-

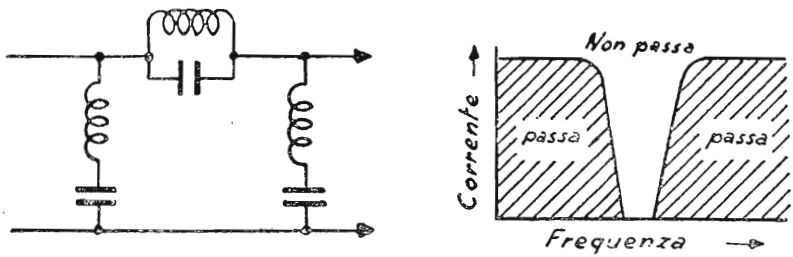


FIG. 38 - Filtro ad eliminazione di banda e sua caratteristica corrente-frequenza.

zione di banda. Vi sono due tipi di queste trappole d'onda: il filtro accordato parallelo ed il filtro accordato serie. Un circuito risonante parallelo, connesso come indicato nella figura 39, è accordato alla risonanza alla frequenza del segnale indesiderato, la trappola d'onda presenta allora un'alta impedenza alle correnti di questa frequenza indesiderata e consente alle correnti di tutte le altre frequenze di entrare nel ricevitore. Un circuito risonante serie, connesso come indicato nella figura 40, può essere accor-

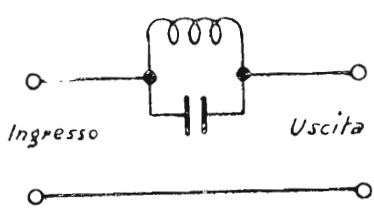


FIG. 39 - Trappola d'onda con circuito accordato parallelo.

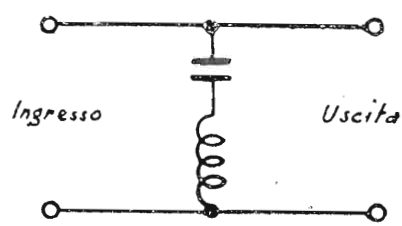


FIG. 40 - Trappola d'onda con circuito accordato serie.

dato alla risonanza alla frequenza del segnale indesiderato, e queste correnti indesiderate saranno effettivamente fatte passare generalmente a massa senza ostacolare le correnti di tutte le altre frequenze.

27. Circuiti accoppiati. Trasformatori.

a) Poichè ogni ricevitore o trasmettitore radio è composto da un certo numero di circuiti, o stadî, debbono essere escogitati dei metodi per connettere o accoppiare l'uscita di ciascuno stadio all'ingresso del circuito successivo. Uno dei metodi più largamente usati per trasferire la potenza da uno stadio ad un altro è dato dal *trasformatore*. Due proprietà importanti del trasformatore sono i *rapporti di spire e tensione* ed i *rapporti di spire ed impedenze*.

b) Il *rapporto di tensione di un trasformatore è proporzionale al suo rapporto di spire*. In altre parole, se in un trasformatore il numero delle spire del secondario è doppio di quello del primario, la tensione del secondario sarà doppia di quella del primario. Al contrario, se un trasformatore ha sul secondario metà spire di quelle del primario, la tensione secondaria sarà metà di quella primaria. Pertanto impiegando un trasformatore, è possibile innalzare o abbassare la tensione alternativa che appare in un circuito. Questa proprietà è largamente usata nei circuiti radio dove è necessario elevare la tensione del segnale passando da uno stadio al successivo. Usando un trasformatore elevatore è possibile ottenere un guadagno di tensione, ossia un'amplificazione di tensione.

c) *Il rapporto di impedenza di un trasformatore è uguale al quadrato del rapporto del numero delle spire*. Così, se un trasformatore ha un rapporto di spire 3 a 1 (ossia un avvolgimento ha un numero di spire triplo dell'altro avvolgimento) il suo rapporto di impedenza sarà da 9 a 1, e l'avvolgimento avente il numero di spire triplo avrà l'impedenza nove volte più grande dell'altro avvolgimento. Scegliendo un trasformatore con il rapporto appropriato di spire è pertanto possibile adattare le impedenze dei due circuiti. Fra i requisiti che deve avere un sistema qualunque per trasferire potenza da un circuito all'altro, l'adattamento di impedenza è il più importante giacchè un teorema dei circuiti elettrici dice che *per trasferire la massima potenza da un circuito ad un altro, le impedenze dei due circuiti debbono essere uguali.*

TABELLA V

SIMBOLI RADIO COMUNI

DISPOSITIVO	SIMBOLO	DISPOSITIVO	SIMBOLO	DISPOSITIVO	SIMBOLO
Conduttore a filo		Induttore con presa		Connettore tipico maschio	
Fili che si incrociano connessi » » » » non connessi		Induttore con nucleo di ferro		Connettore tipico femmina	
Massa		Induttore con nucleo di polvere di ferro		Pila a secco, batteria, accumulatore	
Condensatore variabile schermato		Presa di energia		Cristallo	
Condensatore variabile ad asse unico		Connettore polarizzato maschio		Rettificatori ad ossido	
Condensatori a sezione doppia		Connettore polarizzato femmina		Fusibile	
Bobina o induttore		Connettore bipolare femmina		Lampada spia	
Induttore variabile		Connettore bipolare polarizzato femmina		Voltmetro	

d) Quale esempio pratico di adattamento di impedenze con un trasformatore, consideriamo il caso di disporre di un altoparlante con impedenza d'ingresso di 500 ohm che deve essere connesso ad uno stadio amplificatore ad audiofrequenza avente una impedenza di uscita di 8.000 ohm. Per trasferire il massimo di potenza ad audiofrequenza dell'amplificatore ad audiofrequenza dell'altoparlante, l'impedenza di uscita dell'amplificatore deve adattarsi all'impedenza d'ingresso dell'altoparlante. Applicando la regola dei rapporti spire–impedenza, il rapporto di impedenza dell'amplificatore all'altoparlante deve essere:

$$\frac{8000}{500} = \frac{16}{1}$$

e) Poichè il rapporto di impedenza di un trasformatore è uguale al quadrato del rapporto delle spire, il rapporto delle spire sarà uguale alla radice quadrata del rapporto di impedenza. Nel problema di cui sopra, il rapporto di impedenza è di 16 a 1 e, poichè la radice quadrata di 16 è 4, il trasformatore deve avere un rapporto di spire di 4 a 1 affinchè possa adattare l'amplificatore all'altoparlante.

28. Circuiti accoppiati: Trasformatori a radiofrequenza.

a) Le proprietà dei trasformatori ora discussi si mantengono valide per tutti i tipi, comprendenti i trasformatori a radiofrequenza, perchè tutte le linee di forza magnetiche che tagliano la bobina primaria, tagliano pure la bobina secondaria. Tuttavia, i trasformatori a radiofrequenza soddisfano contemporaneamente a due scopi: essi sono usati per accoppiare le uscite di uno stadio all'ingresso di un altro stadio e, insieme con condensatori variabili, essi formano dei circuiti accordati di complessi radio. Se un trasformatore a radiofrequenza ha uno dei suoi avvolgimenti accordato da un condensatore variabile in un circuito, esso è chiamato un trasformatore ad accordo singolo; se entrambi gli avvolgimenti sono accordati da condensatori, esso è conosciuto come un condensatore ad accordo doppio.

b) *I trasformatori ad accordo singolo* sono usati nella maggioranza dei circuiti degli amplificatori a radiofrequenza dei ricevitori radio. Tali trasformatori hanno usualmente le bobine primarie non accordate e le bobine secondarie accordate. Il numero di spire del secondario dipenderà dalla gamma di frequenza che deve essere coperta dal circuito accordato; ma il numero di spire del primario dipenderà dal desiderato innalzamento di tensione del trasformatore e dall'impedenza d'uscita del circuito al quale deve essere connesso. Il trasferimento di energia dal primario al secondario di un trasformatore è dovuto al campo di una bobina passante attraverso gli avvolgimenti dell'altro. Nel trasformatore disaccordato, la potenza trasferita da un avvolgimento all'altro dipenderà dalla vicinanza di una bobina rispetto all'altra e conseguentemente da quante linee di forza del campo di una bobina passano attraverso l'avvolgimento dell'altra (*vedere* fig. 41). Se due bobine sono poste molto vicine si dice che sono strettamente accoppiate. Da questa discussione sembrerebbe desiderabile accoppiare gli avvolgimenti di un trasformatore a radiofrequenza nel modo più stretto possibile, affinchè si possa ottenere il massimo trasferimento di potenza possibile. Tuttavia, nel caso del trasformatore accordato occorre prendere nella massima considerazione la selettività del circuito accordato (formato dall'avvolgimento secondario accordato del trasformatore) che si verifica nell'intorno del punto di massimo trasferimento di potenza. In altre parole, è desiderato un ragionevole trasferimento di potenza alla frequenza di risonanza ed il minimo trasferimento di potenza a tutte le altre frequenze. Se le bobine del trasformatore a radiofrequenza a singolo accordo sono accoppiate troppo strettamente, il trasferimento di potenza per tutte le frequenze può essere un massimo, ma il rapporto fra la potenza trasferita alla frequenza desiderata alla potenza trasferita alle frequenze indesiderate sarà basso e, conseguentemente, la selettività sarà povera.

Per contro, se le bobine sono accoppiate molto lascamente, il trasferimento di potenza, anche alla frequenza di risonanza, sarà insoddisfacente, benchè la selettività risultante possa essere eccellente. Fra questi due estremi vi è un certo grado di accoppiamento

che darà, sia selettività soddisfacente, sia un buon trasferimento di potenza alla frequenza di risonanza. Questo grado di accoppiamento è chiamato *accoppiamento ottimo*. La figura 42 mostra le curve di selettività di un tipico trasformatore a singolo accordo per tre differenti gradi di accoppiamento fra la sua bobina primaria e quella secondaria.

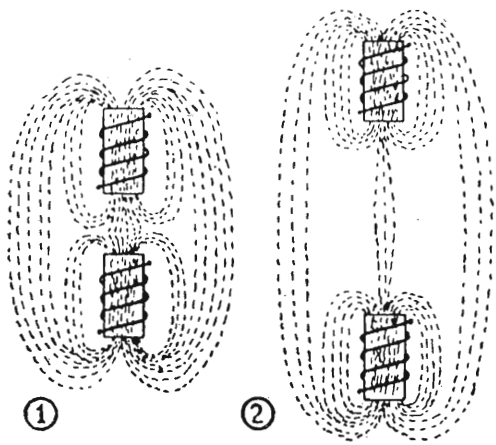


FIG. 41 - Bobine accoppiate.

c) I *trasformatori a doppio accordo* hanno entrambi gli avvolgimenti primario e secondario accordati a mezzo di condensatori e sono largamente usati negli stadî amplificatori a frequenza intermedia dei ricevitori a supereterodina. I trasformatori ad accordo doppio usati in tali circuiti sono chiamati trasformatori a frequenza intermedia [fig. 15 (4)] e debbono essere accuratamente accordati per consentire il passaggio di una strettissima banda di radiofrequenza, conosciuta come la frequenza intermedia del ricevitore a supereterodina. L'effetto del grado di accoppiamento sulla selettività dei trasformatori a doppio accordo è più pronunciato rispetto al caso del trasformatore ad accordo singolo, poichè due circuiti, entrambi accordati alla stessa frequenza, sono accoppiati insieme. Il trasformatore ad accordo doppio ha una selettività più grande del trasformatore a radiofrequenza ad accordo singolo. La curva di selettività sarà più appuntita ed avrà i lati più ripidi,

indicando ciò una più grande attenuazione dei segnali su ciascun lato della frequenza di risonanza. La figura 43 mostra le curve di

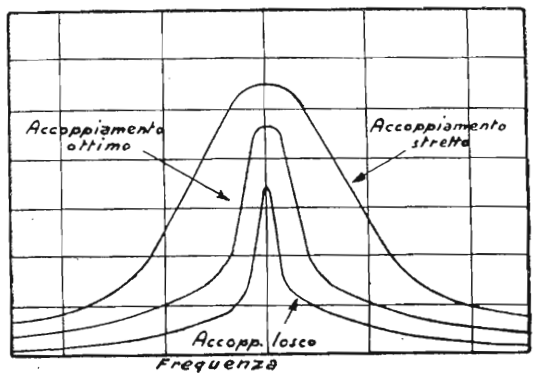


FIG. 42 - Curve di selettività di un tipico trasformatore a radiofrequenza ad accordo singolo, mostrante le variazioni del trasferimento di potenza con il variare della frequenza.

selettività di un trasformatore a doppio accordo per tre differenti gradi di accoppiamento. Confrontando queste curve con quelle

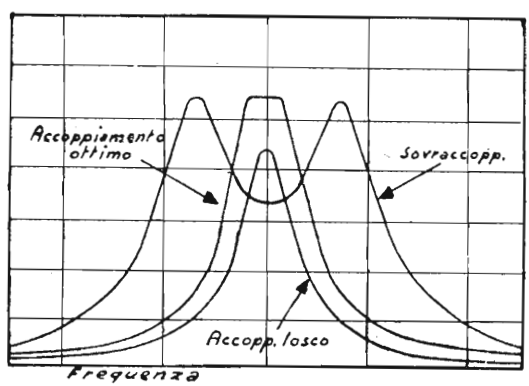


FIG. 43 - Curve di selettività di un tipico trasformatore a radiofrequenza ad accordo doppio mostrante le variazioni del trasferimento di potenza col variare della frequenza.

del trasformatore ad accordo singolo di figura 42 si nota la sommità piatta della curva per accoppiamento ottimo, indicando ciò

che una banda di frequenza su ciascun lato della frequenza risonante potrà passare a mezzo di un trasformatore a doppio accordo con l'appropriato grado di accoppiamento.

Questo effetto passa banda è molto importante nella ricezione dei segnali radio telefonici, come si vedrà in seguito. Poichè i trasformatori ad accordo doppio fanno passare una stretta banda di frequenza, mentre ostacolano tutte le altre frequenze, essi sono qualche volta chiamati filtri passa banda. Da notare la doppia gobba per la condizione di sovraccoppiamento, la quale indica che un trasformatore avrà due frequenze risonanti equidistanti dalla propria frequenza risonante se l'accoppiamento è accresciuto oltre il punto di accoppiamento ottimo.

d) L'importanza di mantenere l'accoppiamento appropriato fra le bobine di un trasformatore a radiofrequenza non deve essere sottovalutata. Il sovraccoppiamento ridurrà la selettività di un complesso; l'accoppiamento lasco ridurrà la sensibilità del complesso.

29. Circuiti accoppiati: accoppiamento a resistenza.

a) I resistori sono spesso usati per accoppiare l'uscita del circuito all'ingresso di un altro, particolarmente negli amplificatori ad audiofrequenza. L'accoppiamento a resistenza può essere usato per abbassare la tensione da uno stadio all'altro (*vedere* fig. 44).

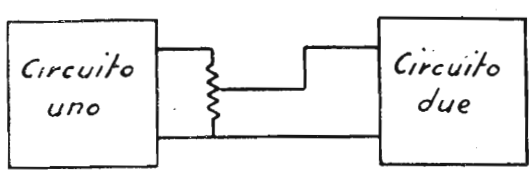


FIG. 44 - Accoppiamento a resistenza usato per abbassare la tensione.

In questa disposizione, se la presa sul resistore è posta a metà via fra l'estremità del resistore, la tensione applicata al circuito 2 sarà metà della tensione di uscita del circuito 1. Altri rapporti di

riduzione di tensione possono essere ottenuti spostando la presa su e giù lungo il resistore.

b) Nell'accoppiamento a resistenza fra due stadî, che deve far passare dall'uno all'altro soltanto correnti alternative, come nel caso del maggior numero di radiocircuiti, è usato un condensatore di blocco (fig. 45).

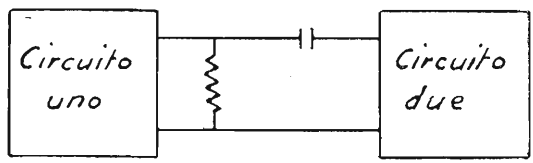


FIG. 45 - Accoppiamento a resistenza con condensatore di blocco.

Questa forma di accoppiamento a resistenza, qualche volta chiamato accoppiamento a resistenza e capacità, ha un largo impiego negli amplificatori ad audiofrequenza dei ricevitori radio.

30. Circuiti accoppiati: accoppiamento ad induttanza.

a) L'accoppiamento ad induttanza è usato principalmente per accoppiare i circuiti degli amplificatori a radiofrequenza dei trasmettitori radio, benchè esso trovi qualche applicazione nei circuiti ad audiofrequenza dei ricevitori. L'accoppiamento ad induttanza può essere usato per abbassare la tensione di un circuito ad un altro, esattamente nello stesso modo dell'accoppiamento a resistenza della figura 44, con l'eccezione che un induttore con diverse prese è sostituito al resistore. Il rapporto della riduzione di tensione sarà uguale al rapporto delle spire dell'avvolgimento completo alla porzione di avvolgimento compresa fra le prese. Cioè, se la sezione di avvolgimento facente parte del circuito due ha soltanto un terzo di spire dell'avvolgimento completo, la tensione che appare attraverso questa porzione di avvolgimento sarà un terzo della tensione applicata alla bobina intera.

b) In modo simile, l'accoppiamento ad induttanza può essere usato ad innalzare la tensione da un circuito all'altro (fig. 46).

Il rapporto di elevazione della tensione sarà pure uguale al rapporto delle spire dell'avvolgimento completo a quelle della porzione compresa fra le prese. Così, se il circuito uno è connesso ai capi di un terzo delle spire della bobina, la tensione che appare nel circuito due sarà tre volte più grande della tensione di uscita del circuito uno. Poichè l'induttore con prese opera nello stesso modo del trasformatore, l'induttore a prese è spesso chiamato autotrasformatore.

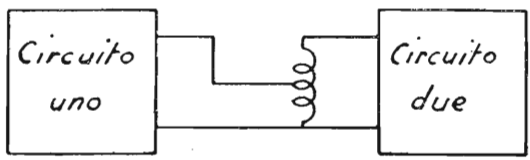


FIG. 46 - Accoppiamento ad induttanza usato per innalzare la tensione.

c) L'adattamento di impedenza può essere compiuto con gli induttori a prese nello stesso modo dei trasformatori. Vale la seguente regola: il rapporto dell'impedenza della bobina intera a quella della sezione compresa fra le prese è uguale al quadrato del rapporto delle spire della bobina intera a quella della sezione compresa fra le prese.

d) Nell'accoppiamento ad induttanza, come nell'accoppiamento a resistenza, per impedire il passaggio di corrente continua da un circuito all'altro, mentre debbono passare i segnali alternativi, è impiegato un condensatore di blocco. Questo metodo di accoppiamento è mostrato nella figura 47 ed è spesso chiamato accoppiamento ad induttanza e capacità.

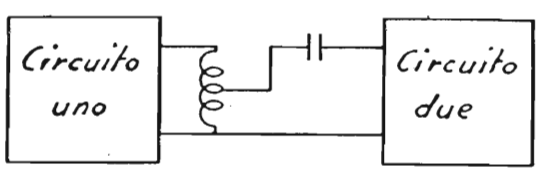


FIG. 47 - Accoppiamento ad impedenza e capacità usato per abbassare la tensione.

31. Induttanza e capacità distribuita.

a) In aggiunta all'induttanza e alla capacità incluse negli induttori e nei condensatori, vi sono gli effetti di quelle distribuite (o disperse) presenti nei vari componenti radio, come fili di connessione, commutatori, zoccoletti, ecc. Queste assumono considerevole importanza alle radiofrequenze.

b) La reattanza capacitiva è inversamente proporzionale alla frequenza $\left(X_c = \frac{1}{2\pi f C}\right)$. Questo significa che con l'elevarsi della frequenza applicata, la capacità del circuito offre sempre meno opposizione al passaggio della corrente. Alle alte frequenze possono apparire delle indesiderabili forti correnti là dove si avrebbero correnti trascurabili alle basse frequenze. La capacità esistente fra gli elementi di un tubo a vuoto e fra le spire adiacenti di una bobina presenta una grande reattanza capacitiva alle frequenze più basse. Per contro, a radiofrequenze, la reattanza può ridursi fino ad un punto per cui l'accresciuta intensità delle correnti determina il limite superiore di frequenza utilizzabile.

c) La reattanza induttiva aumenta in proporzione diretta alla frequenza ($X_L = 2\pi f L$), ossia aumentando la frequenza della tensione applicata, l'induttanza del circuito offre un'opposizione sempre maggiore al passaggio della corrente. Un semplice filo di connessione, di cui la reattanza induttiva può essere insignificante alle frequenze basse, può presentare alle più alte frequenze una reattanza induttiva sufficientemente grande da rendere inattivo un dato strumento.

32. Resistenza effettiva in corrente alternata.

Fondamentalmente, la misura della resistenza di un circuito è data dalla potenza dissipata in calore quando l'unità di corrente fluisce nel circuito. Nel senso più largo, il termine resistenza comprende tutti gli effetti relativi alla dissipazione di energia che non è ricuperabile per qualunque scopo utile entro l'immediato si-

stema. Così si dice, che una antenna radiotrasmittente ha una resistenza di radiazione associata con le perdite radiative, cioè con l'energia che è radiata nello spazio; inoltre per un particolare circuito trasmettitore od un circuito ricevitore si può dire che esibisce una certa resistenza riflessa per effetto della potenza consumata da altri circuiti che esso alimenta direttamente o indirettamente. Con correnti alternate, per una data ampiezza di corrente, può essere consumata una potenza considerevolmente superiore a quella che è richiesta dallo stesso circuito con corrente continua.

La resistenza che è indicata da un dissipatore di potenza in corrente alternata è chiamata la resistenza effettiva in corrente alternata. Parte di questa potenza aggiuntiva è richiesta per mantenere le perdite di calore che accompagnano le correnti circolanti parassite che sono indotte nei conduttori del circuito (in particolare nei nuclei dei trasformatori) dal campo magnetico variabile. Un'altra sorgente di dissipazione di potenza elettrica in corrente alternata è rappresentata dalle perdite dielettriche. Un altro fattore che contribuisce ad una maggiore richiesta di potenza, per una data ampiezza di corrente alternata, è l'effetto pelle: la tendenza, cioè, delle correnti alternate di viaggiare con la loro densità più grande vicino alla superficie del conduttore, più che nella parte centrale. Il campo magnetico attorno ad un conduttore trasportante corrente è al centro del conduttore più intenso di quanto non lo sia alla sua superficie. Pertanto la forza controelettromotrice creata dal campo magnetico in aumento ed in diminuzione, è più grande al centro che vicino alla superficie, per cui praticamente tutta la corrente alle alte frequenze che attraversa un conduttore è confinata sulla superficie esterna di esso. Il risultato è una aumentata produzione di calore a parità di corrente, cioè una resistenza più alta. La distribuzione non uniforme di corrente attraverso la sezione trasversale di un conduttore alle alte frequenze è più pronunciata se il conduttore è avvolto in forma di bobina rispetto a quando è usato in forma rettilinea. A radiofrequenze, la resistenza effettiva in corrente alternativa di una bobina può essere 10 o 100 volte più grande della resistenza che esso presenta in corrente continua. Quando sono studiate correnti alternate è generalmente sottinteso, se non è specificato altrimenti, che la resistenza si riferisce a quella effettiva in corrente alternata.

CAPITOLO IV

TUBI A VUOTO

33. Elettroni.

a) I fondamenti dell'elettricità sono basati sull'elettrone, costituito da una minuta particella caricata negativamente. Gli atomi, di cui è composta la materia, consistono di nuclei caricati positivamente attorno a cui sono raggruppati un certo numero di elettroni. Le proprietà fisiche di qualunque materia dipendono dal numero di elettroni attorno al nucleo e dalla dimensione dei nuclei. In ogni materia vi sono un certo numero di elettroni liberi. Il movimento di questi elettroni liberi costituisce la corrente elettrica. Se il movimento degli elettroni avviene in una sola direzione, si ha la corrente continua. Tuttavia, se la sorgente di tensione è alternata fra valori positivi e negativi, il movimento degli elettroni è similmente alternato: questo costituisce la corrente alternata.

b) Se certi metalli, o sostanze metalliche, tali come gli ossidi metallici, sono riscaldati ad alta temperatura, sia a mezzo di una fiamma o facendovi passare una corrente elettrica, essi hanno la proprietà di sprigionare o emettere elettroni. L'elemento di un tubo a vuoto che è riscaldato e che emette elettroni è chiamato *catodo*.

c) Se il catodo è riscaldato ad un'alta temperatura nell'aria aperta, esso si brucierà per effetto della presenza dell'ossigeno nell'aria. Per questa ragione il catodo è posto entro un bulbo di vetro o di metallo dal quale è stata tolta l'aria. Tale spazio costituisce un *vuoto*. Poichè è difficile riscaldare un elemento di un tubo a vuoto a mezzo del fuoco o della fiamma, il catodo, che ha la forma di un filamento, è riscaldato facendolo attraversare direttamente da una corrente.

d) Qualunque corpo isolato caricato positivamente, posto nella vicinanza di un emettitore elettronico, attrarrà gli elettroni caricati negativamente. La carica positiva sul corpo sarà ben

presto cancellata dagli elettroni attratti da esso a meno che non sia escogitato qualche mezzo per togliere gli elettroni non appena arrivino. Ciò può essere fatto connettendo una sorgente di tensione costante fra il corpo caricato positivamente e l'emettitore elettronico (fig. 48). Questa è la disposizione generale realizzata con il tubo a due elementi a *diodo*. Essa costituisce pure la base di funzionamento di tutti i tipi di tubo a vuoto.

e) L'emettitore o catodo di un tubo a vuoto può essere simile al filamento di una comune lampada ad incandescenza che è riscaldata dalla corrente che lo percorre. Il corpo caricato positivamente

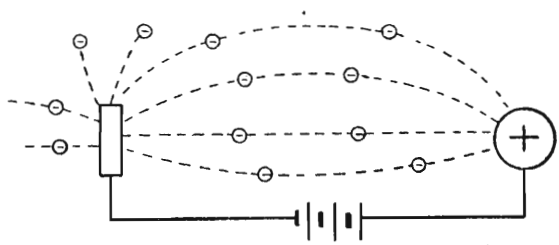


FIG. 48 - Elettroni emessi attratti da un corpo caricato positivamente.

circonda usualmente l'emettitore ed è chiamato la *placca* o l'*anodo*. Da notare che gli elettroni viaggiano dal corpo negativo a quello positivo.

f) Due tipi di catodo, o emettitori, sono impiegati nei tubi radio. In un tipo chiamato *filamento* o *catodo a riscaldamento diretto*, la corrente riscaldante passa attraverso il catodo stesso. Nell'altro, chiamato *catodo a riscaldamento indiretto*, la corrente passa attraverso un elemento riscaldante che a sua volta riscalda il catodo ad una temperatura sufficientemente alta da determinare la emissione elettronica. Nel tipo a riscaldamento indiretto, il catodo è costituito da una guaina metallica rivestita da speciali ossidi che è posta sopra l'elemento riscaldatore.

g) Più alta è la temperatura del catodo, più elettroni saranno emessi. Tuttavia, se è applicata al catodo una tensione troppo elevata, la corrente intensa che attraverserà il filamento, o il

riscaldatore, lo brucerà. La giusta tensione da applicare al filamento o al riscaldatore è stabilita dal fabbricante e questo valore di tensione deve essere osservato per ottenere un funzionamento soddisfacente. Il catodo di un tubo non continuerà ad emettere elettroni indefinitivamente. Dopo parecchie migliaia di ore di funzionamento il numero di elettroni emessi decrescerà gradualmente, sino a che, infine, ne viene emesso un numero insufficiente per l'appropriato funzionamento. La diminuzione della capacità di emissione è dovuta a trasformazione chimica che si verifica nel catodo. Questa è una delle ragioni per cui i tubi si esauriscono.

34. **Funzionamento del diodo.**

a) Il *diodo* è il tipo più semplice di tubi a vuoto e consiste in soli due elementi: un catodo e una placca. Il funzionamento del diodo dipende dal fatto che se una tensione positiva è applicata alla placca rispetto al catodo riscaldato, una corrente attraverserà il tubo: se invece è applicata una tensione negativa alla placca, rispetto al catodo, il tubo non sarà attraversato da corrente.

b) Quando il terminale positivo di una batteria è connesso alla placca di un diodo ed il terminale negativo è connesso al catodo, la placca sarà positiva rispetto al catodo. Poichè gli elettroni emessi dal catodo sono particelle negative di elettricità e vi è una carica positiva sulla placca, gli elettroni emessi dal catodo saranno attirati dalla placca (fig. 49). In altre parole, vi è un flusso di elettroni che attraversa il tubo e che quindi determina una corrente nel circuito. Se la corrente nel circuito è misurata dal milliamperometro *A* (fig. 49) mentre la tensione applicata alla placca (chiamata tensione di placca o anodica) è accresciuta, si vedrà che la corrente nel tubo, chiamata corrente di placca, è aumentata. Ciò è mostrato dalle curve tensione di placca–corrente di placca di figura 50.

c) Quando il terminale negativo della batteria è connesso alla placca del diodo ed il terminale positivo è connesso al catodo

(fig. 51), la placca sarà negativa rispetto al catodo, e pertanto nessun elettrone sarà attratto dalla placca. Poichè non vi sono elettroni viaggianti verso la placca, non passerà corrente nel tubo.

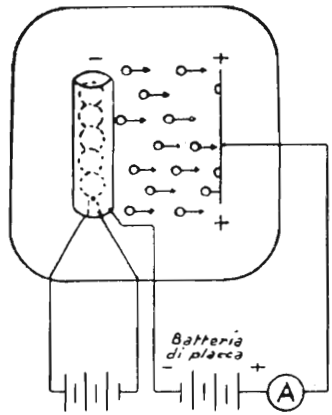


FIG. 49 - Flusso di elettroni in un diodo quando la placca e positiva.

d) Il diodo è un *conduttore* quando la tensione di placca è positiva ed è un *non conduttore* quando la tensione di placca è negativa. Questa proprietà del diodo ne permette l'impiego per due funzioni molto utili: *la rettificazione* e *la rivelazione*.

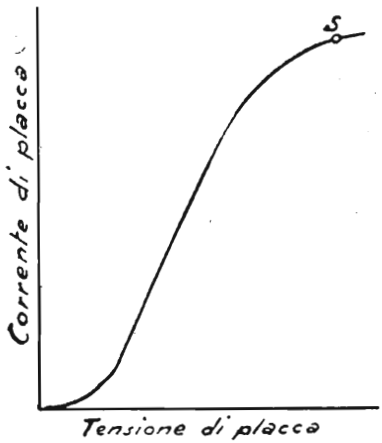


FIG. 50 - Corrente di placca in un diodo.

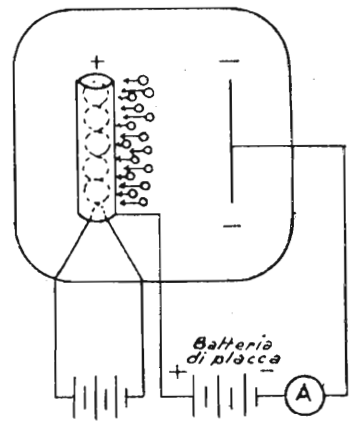


FIG. 51 - Azione del diodo quando la placca è negativa.

35. **Diodo quale rettificatore.**

a) L'abilità di un diodo a condurre corrente soltanto in una sola direzione ne rende possibile l'impiego come rettificatore per convertire la corrente alternata in corrente continua. Uno schema di un circuito rettificatore con semplice diodo è mostrato dalla figura 52. Se una sorgente di corrente alternata è connessa fra la placca ed il catodo di tale tubo, la placca, per una metà di ciascun ciclo sarà positiva e per l'altra metà sarà negativa rispetto

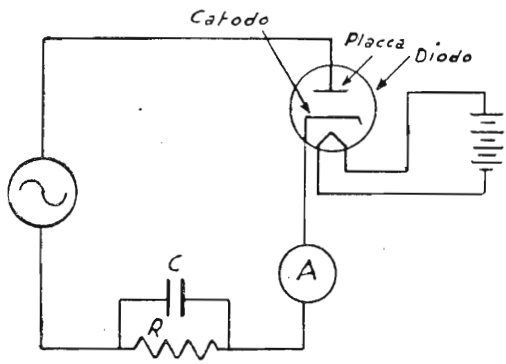


FIG. 52 - Diodo usato come rettificatore in semionda.

al catodo. Poichè il diodo conduce soltanto quando la placca è positiva, la corrente passerà attraverso il tubo soltanto nel mezzo ciclo positivo della tensione alternativa, come indicato dalla figura 53. Poichè la corrente attraverso il diodo fluisce soltanto in una direzione, tale corrente è continua. Questo tipo di circuito rettificatore a diodo è chiamato *rettificatore in semionda*, poichè esso rettifica soltanto durante una metà di ciascun ciclo di corrente alternata.

b) Si può vedere dalla figura 53 che questa corrente continua è molto differente dalla corrente continua pura, poichè essa cresce da zero ad un massimo e ritorna a zero durante il mezzo ciclo positivo della corrente alternativa, e non fluisce durante tutto il

mezzo ciclo negativo. Per distinguere questo tipo di corrente da una corrente continua pura, essa si chiama *corrente continua pulsante* o *corrente continua rettificata.*

c) Per convertire questa corrente alternativa rettificata in corrente continua pura, debbono essere rimosse le fluttuazioni. In altre parole, è necessario tagliare la sommità dei mezzi cicli del flusso di corrente e riempire i vuoti dovuti ai mezzi cicli durante i quali non vi è passaggio di corrente. Questo procedimento è chiamato *filtraggio.* Nel circuito di figura 52 la tensione continua di uscita apparirà ai capi del resistore di carico R, per effetto del

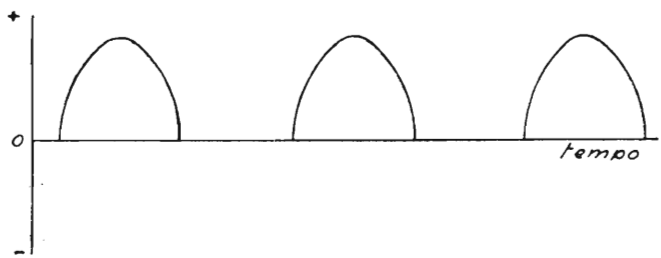


FIG. 53 - Uscita di un rettificatore in semionda.

passaggio della corrente durante i mezzi cicli positivi. Il condensatore C, avente una piccola reattanza alla frequenza della corrente alternativa, è connesso ai capi di questo resistore. Questo condensatore si caricherà durante i mezzi cicli positivi, quando la tensione appare ai capi del resistore R e si scaricherà sul resistore R durante i mezzi cicli negativi, quando nessuna tensione appare ai capi del resistore, tendendo così a spianare od a filtrare la corrente continua fluttuante. Tale condensatore è conosciuto come un *condensatore filtro.* Esso immagazzina tensione quando essa è presente, e restituisce la tensione al circuito quando essa è necessaria. La figura 54 mostra la tensione che appare ai capi del resistore R, sia con il condensatore filtro nel circuito che senza. Si vede che l'aggiunta di un solo condensatore filtro non è sufficiente a rimuovere completamente le fluttuazioni; in effetti nessun valore di capacità, per quanto grande, potrà eliminare completamente queste fluttuazioni. Tuttavia, se è aggiunto un

circuito filtro al rettificatore in semionda, come è indicato dal circuito completo (fig. 55) può essere ottenuto un grado soddisfacente di filtraggio. In questo circuito, i condensatori C_1 e C_2 sono entrambi condensatori filtro e soddisfano completamente alla funzione sopra descritta. L'induttore L è una bobina di arresto avente un'alta reattanza alla frequenza delle correnti alternate e un basso valore di resistenza alla corrente continua. Essa si opporrà a qualunque fluttuazione di corrente, ma consentirà alla

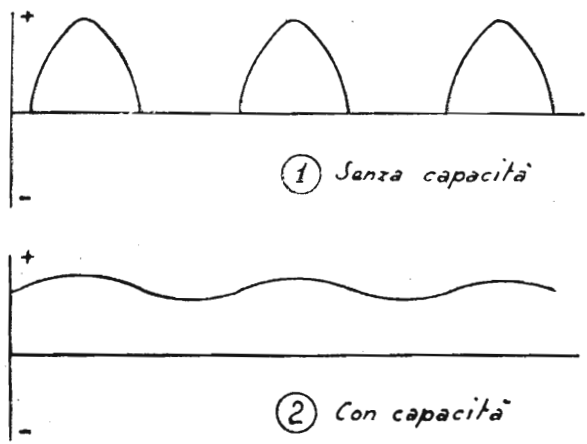


FIG. 54 - Effetto del condensatore filtro.

corrente continua di fluire indisturbata nel circuito. I due condensatori filtro C_1 e C_2 dànno passaggio alle fluttuazioni di tensione intorno al resistore di carico R, mentre la bobina di arresto L tende ad opporsi a qualunque fluttuazione di corrente attraverso il resistore.

d) Lo svantaggio del rettificatore in semionda è dato dal fatto che non fluisce corrente durante il mezzo ciclo negativo. Pertanto parte della tensione prodotta durante il mezzo ciclo positivo deve essere usata per rimuovere le fluttuazioni. Questo fatto riduce la tensione media di uscita del circuito. Poichè il circuito conduce soltanto per metà del tempo, esso non è molto efficiente. Conseguentemente, il rettificatore ad onda completa, cosi chia-

mato perchè rettifica per entrambi i mezzi cicli, è stato sviluppato per essere impiegato nei circuiti alimentatori di potenza dei moderni ricevitori e trasmettitori. Nel circuito rettificatore ad onda completa mostrato dalla figura 56, sono usati due diodi, uno che conduce durante il primo ciclo e l'altro durante il secondo mezzo ciclo.

e) Nel circuito di figura 56, il trasformatore ha l'avvolgimento secondario con presa centrale, cosicchè il diodo D_1 è connesso ad una metà di questo avvolgimento, mentre il diodo D_2 è

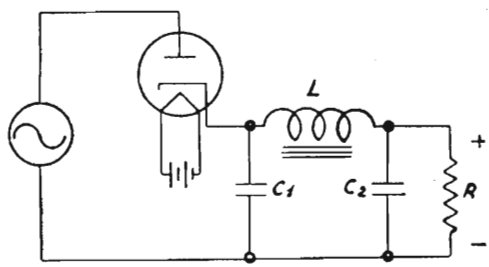


FIG. 55 - Circuito filtro aggiunto ad un rettificatore in semionda.

connesso all'altra metà. Il resistore R è il resistore di carico comune ad entrambi i diodi. I condensatori C_1 e C_2 e l'induttore L formano il circuito filtro. Durante un mezzo ciclo, la placca del diodo D_1 sarà positiva rispetto alla presa centrale dell'avvolgimento secondario del trasformatore, mentre la placca del diodo D_2 sarà negativa: conseguentemente il diodo D_1 condurrà mentre il diodo D_2 non condurrà. Durante l'altro mezzo ciclo, D_1 sarà negativo e non conduttore, mentre D_2 sarà positivo e conduttore. Pertanto, poichè i due diodi entrano successivamente in funzionamento, ed uno di loro è sempre conduttore, la corrente fluisce attraverso la resistenza di carico durante entrambe le metà del ciclo. Questa è la rettificazione ad onda completa.

f) Se non fosse usato un circuito filtro nel circuito rettificatore ad onda completa di figura 56, la tensione d'uscita continua ai capi del resistore di carico R apparirebbe come in figura 57.

Evidentemente questa forma d'onda è molto più facile filtrare di quanto non lo sia l'uscita del rettificatore in semionda; l'azione dei condensatori e degli induttori nello spianare questa forma di onda è la stessa come per la tensione del rettificatore in semionda.

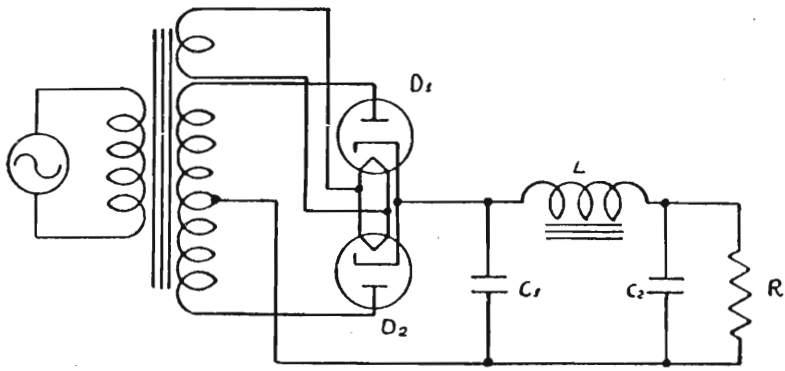


FIG. 56 - Rettificatore ad onda completa.

g) Il circuito mostrato dalla figura 56 è quello base per tutti gli alimentatori di potenza azionati dalla corrente alternata e

FIG. 57 - Uscita di un rettificatore ad onda completa senza filtro.

impiegati per fornire le tensioni continue richieste dai trasmettitori e dai ricevitori. Da notare che la tensione dei riscaldatori per ciascuno dei due diodi è presa da uno avvolgimento a parte sul secondario del trasformatore.

36. Curve caratteristiche del diodo.

a) La curva corrente di placca — tensione di placca mostrata dalla figura 50 — è un'importante caratteristica del diodo, poichè essa mostra il valore della corrente che un diodo farà passare

per qualunque data tensione di placca. Differenti tipi di diodi possono avere curve caratteristiche leggermente differenti. Tuttavia, tutte queste curve indicano un fatto importante: la corrente di placca, o di carico, non è proporzionale alla tensione di placca applicata. Per questa ragione la legge di Ohm è applicabile strettamente soltanto a piccoli incrementi, o variazioni, di correnti e tensioni. In generale, le relazioni tensioni–corrente nei circuiti dei tubi a vuoto sono studiate a mezzo di curve caratteristiche ottenute sperimentalmente.

b) Le porzioni curve nel grafico di figura 50 sono il risultato di certe variazioni nell'azione del diodo. Quando la tensione di placca è bassa gli elettroni più vicini al catodo sono respinti indietro al catodo dagli elettroni emessi che si sono accumulati nelle vicinanze del catodo, e soltanto quegli elettroni che sono più vicini alla placca saranno attratti da quest'ultima. Questo effetto di ripulsione attorno al catodo è provocato dalla *carica spaziale.* Per valori intermedi del potenziale di placca, la carica spaziale nella vicinanza del catodo è ridotta per effetto dell'attrazione di un maggior numero di elettroni dalla placca caricata positivamente e qualunque aumento nel potenziale di placca produce un aumento apprezzabile di corrente, come mostrato dalla curva di figura 50. Per valori grandi del potenziale di placca, quando la carica spaziale è completamente rimossa, il numero di elettroni che per ogni secondo raggiungono la placca è limitato dal numero di elettroni emessi per secondo dal catodo, ed è indipendente dal potenziale di placca. Questa ultima condizione si chiama di *saturazione,* ed un punto sulla curva (punto *S* di fig. 50) è chiamato il punto di *saturazione.*

37. **Funzionamento del triodo.**

a) Il triodo differisce in costruzione dal diodo soltanto per l'aggiunta di un altro elemento, chiamato *griglia.* La griglia è una struttura cilindrica fatta di maglie sottili di filo, che è posta fra il catodo e la placca del tubo in modo che tutti gli elettroni che lasciano il catodo debbono attraversarla per poter raggiungere la

placca. La figura 58 mostra la disposizione della griglia, del catodo e della placca in un triodo tipico. La griglia è posta molto più vicina al catodo che alla placca e conseguentemente avrà un effetto maggiore di quello esercitato dalla placca sugli elettroni che la attraversano.

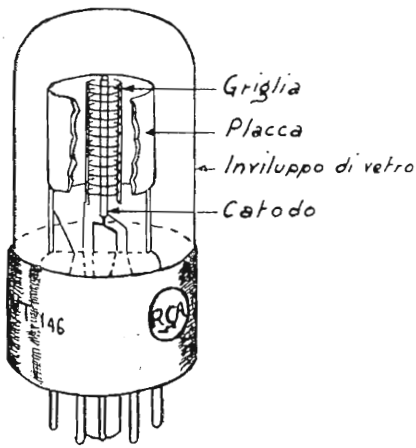


FIG. 58 - Triodo tipico.

b) Se un triodo è connesso ad un semplice circuito, come quello mostrato dalla figura 59, può essere studiata l'azione della griglia. Quando una piccola tensione negativa (rispetto al catodo) è applicata alla griglia, il flusso di elettroni nel tubo subisce una variazione. Poichè gli elettroni sono particelle negative di elettricità, e cariche uguali si respingono, la tensione negativa sulla griglia respingerà gli elettroni emessi dal catodo e così tenderà ad impedirne il passaggio attraverso la griglia lungo il loro cammino verso la placca. Tuttavia, poichè la placca è considerevolmente positiva rispetto al catodo, la sua attrazione sugli elettroni è sufficientemente intensa da permettere ad una parte di loro di passare attraverso la griglia e di raggiungere la placca malgrado l'opposizione offerta dalla tensione negativa sulla griglia. Pertanto, una piccola tensione negativa sulla griglia del tubo ridurrà il flusso di elettroni dal catodo alla placca (fig. 60) e conseguentemente ridurrà il valore della corrente di placca fra il catodo e la placca del tubo.

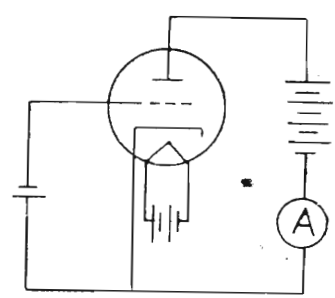


FIG. 59 - Triodo con una piccola tensione negativa sulla griglia.

c) Se la corrente di placca nel circuito di figura 59 è misurata a mezzo del milliamperometro *A* mentre è mantenuta co-

stante la tensione di placca, facendo la griglia del tubo gradualmente più negativa rispetto al catodo, la corrente di placca varierà come mostrato dalla curva di tensione di griglia–corrente di placca di figura 61. Tale curva è pure chiamata la caratteristica E_G–I_P. Si può vedere da questa curva che col diventare la griglia del tubo sempre più negativa, fluirà sempre meno corrente, poichè più la griglia è negativa minore è il numero di elettroni che essa permette di passare alla placca. Nel caso di questo tubo

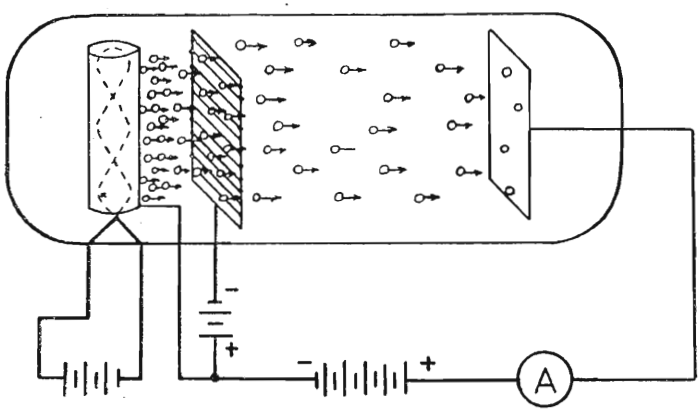


Fig. 60 - Effetto della griglia negativa sul flusso della corrente di placca.

particolare (tipo 6 *G* 5) sarà notato dalla curva caratteristica che se la griglia è fatta sufficientemente negativa (— 10 volt), la corrente di placca cade a zero. Così, questo valore di tensione negativa di griglia ha tagliato il flusso di elettroni dentro il tubo. Una tensione negativa che è applicata alla griglia di un tubo per mantenere un dato valore di corrente di placca, è chiamata la tensione di polarizzazione di griglia; quel valore di tensione di polarizzazione di griglia che taglia il flusso della corrente di placca è chiamato la tensione d'interdizione del tubo. Poichè in un tubo la corrente di placca aumenta con l'aumentare della tensione di placca, la polarizzazione richiesta per interdire la corrente di placca aumenterà con l'aumentare della tensione di placca applicata al tubo.

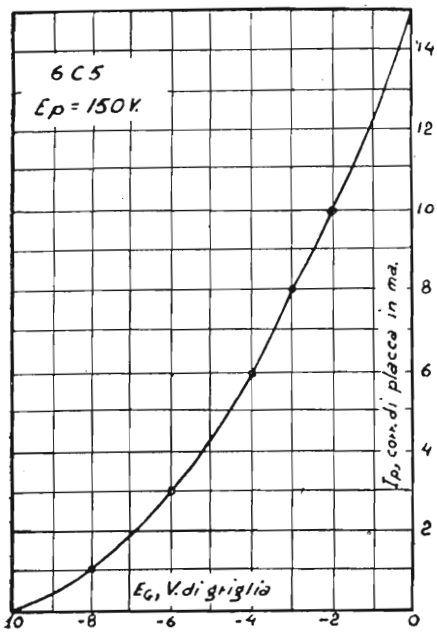


FIG. 61 - Curva tensione di griglia-corrente di placca.

d) Il triodo è ora connesso ad un circuito (fig. 62) dove è applicata alla griglia una tensione alternativa (segnale), in aggiunta alla tensione di polarizzazione. La sorgente di segnale è regolata in modo che essa applica una tensione alternativa di 1 volt al circuito. Poichè la sorgente del segnale e i 3 volt di tensione negativa polarizzante sono in serie, sul mezzo ciclo positivo del segnale alternativo saranno applicati alla griglia —2 volt (+ 1 — 3 = — 2); sul mezzo ciclo negativo saranno applicati alla griglia del tubo — 4 volt (— 1 — 3 = — 4). Dalla curva tensione di griglia–corrente di placca mostrata dalla figura 61, si può vedere che quando non è applicato al tubo il segnale alternativo, la corrente di placca sarà fissata ad 8 milliampère dai 3 volt della tensione di polarizzazione fornita dalla batteria. Quando è applicato al tubo il segnale alternativo, sui mezzi cicli positivi saranno applicati alla griglia del tubo — 2 volt e la corrente di placca aumenterà a 10 milliampère; ma nei mezzi cicli negativi vi saranno sulla griglia — 4 volt e la corrente di placca decrescerà a 6 milliampère. Così 1 volt di segnale alternativo produce in questo tubo una variazione di corrente di placca di 4 milliampère. Ciò può essere dimostrato

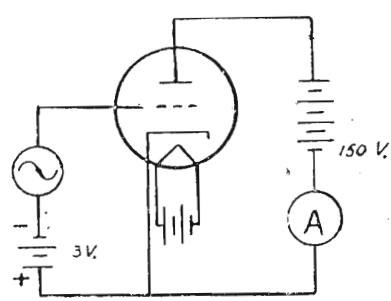


FIG. 62 - Triodo con un segnale alternativo sulla griglia.

graficamente tracciando la forma d'onda della tensione alternativa sulla scala tensione di griglia della curva caratteristica E_G–I_P e disegnando la forma d'onda sulla scala corrente di placca del grafico (fig. 63).

e) L'esame della figura 63 mostrerà che la forma d'onda della variazione della corrente di placca è una riproduzione esatta della

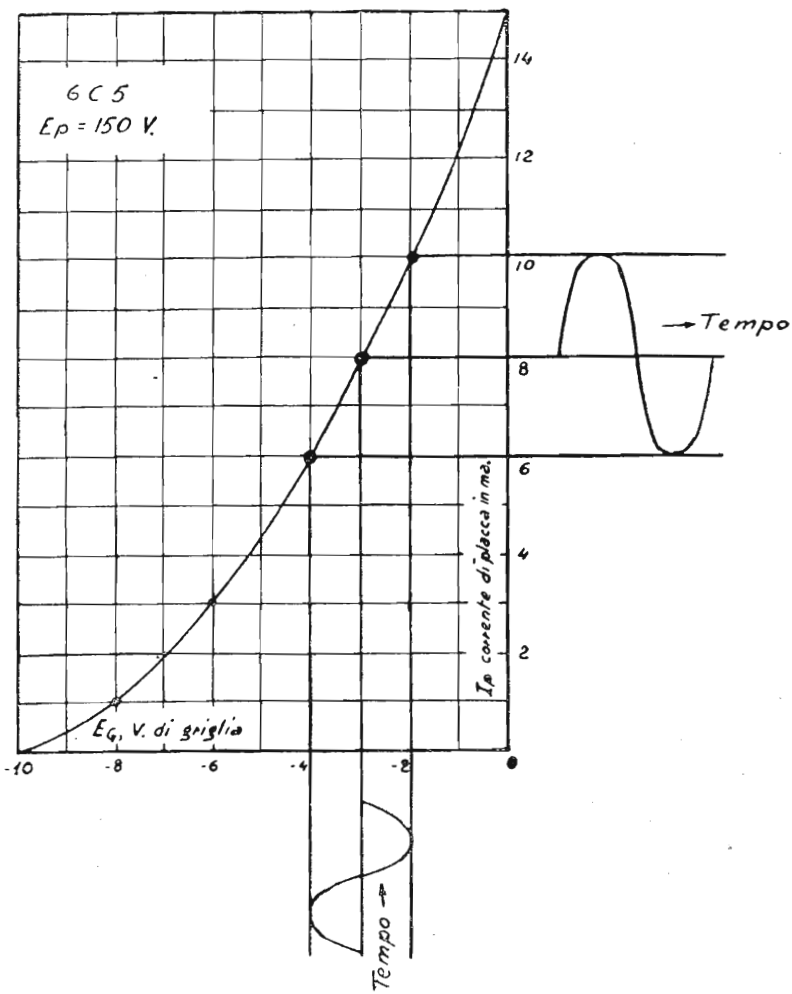


FIG. 63 - Forma d'onda della corrente di placca risultante da una tensione alternativa di griglia.

forma d'onda della tensione alternativa applicata al tubo. Sviluppando ulteriormente questo procedimento, può essere mostrato che se la tensione negativa di polarizzazione è accresciuta a 5 volt, in modo che la tensione di griglia vari da — 4 a — 6 volt durante il ciclo della corrente alternata, la corrente di placca varierà da 3 a 6 milliampère, mostrando una variazione totale di soli 3 milliampère. Se la tensione negativa di polarizzazione è aumentata a 9 volt, in modo che la tensione di griglia vari da — 8 a — 10 volt durante il ciclo della corrente alternata, allora la corrente di placca varierà di solo 1 milliampère. Da ciò può essere visto che se è accresciuta la polarizzazione negativa, vi è una diminuzione nella risultante variazione di corrente di placca per un dato segnale d'ingresso. Questo metodo di controllo della uscita di un tubo a mezzo della variazione della tensione di polarizzazione è spesso usato per realizzare il controllo di volume, come sarà mostrato in seguito nello studio dei radioricevitori. Tuttavia sarà notato che se la tensione di griglia è portata ad un valore negativo molto alto [fig. 64 (1)], vi è una sensibile distorsione dell'onda della corrente d'uscita di placca. Risulta pure della distorsione se la temperatura del catodo è abbassata ad un valore tale da determinare un'emissione insufficiente [fig. 64 (2)]. Un'uscita distorta è generalmente, ma non sempre, dannosa.

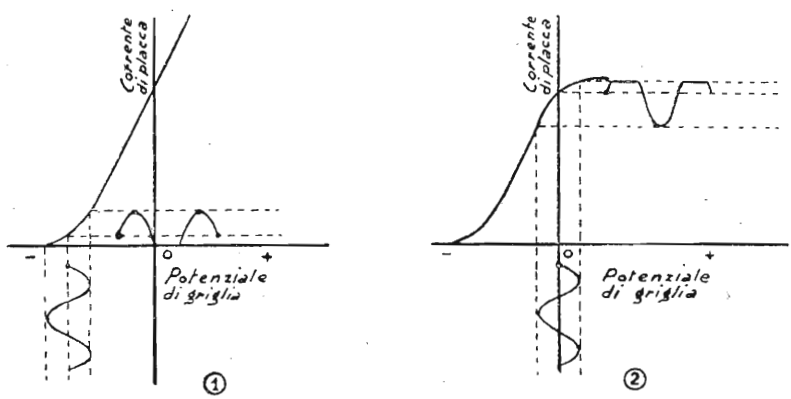


FIG. 64 - Distorsione dovuta ad alta tensione di polarizzazione di griglia ed a bassa temperatura del catodo.

38. Circuiti del triodo; carichi di placca.

a) Per potere utilizzare le variazioni della corrente di placca di un triodo dovute alle variazioni della tensione di griglia, deve essere presente un qualche dispositivo nel circuito di placca del tubo che agisca come carico. Questo carico di placca può essere un resistore, un induttore od un circuito accordato.

b) Un circuito a triodo tipico con un resistore impiegato come carico di placca è mostrato dalla figura 65. Se in questo circuito il tubo è polarizzato a — 3 volt e la tensione del segnale alternativo applicata alla griglia è di 1 volt, la variazione di corrente di placca di 4 milliampère produrrà una variazione di tensione di 40 volt ai capi del resistore di 10.000 ohm. Sui mezzi cicli positivi, la tensione negativa di 2 volt applicata alla griglia produce un flusso di corrente di 10 milliampère attraverso il resistore di carico della placca, producendo così una caduta di tensione di 100 volt (per la legge di Ohm). Sui mezzi cicli negativi, la tensione negativa di 4 volt applicata alla griglia produce una corrente di 6 milliampère attraverso il resistore di carico della placca ed una corrispondente caduta di tensione di 60 volt. La differenza fra queste due cadute di tensione, ossia 40 volt, è la *variazione di tensione* nel circuito di placca prodotta dalla tensione alternativa applieata alla griglia. Pertanto si vede che una tensione segnale variabile da — 1 a + 1 (ossia una variazione totale di 2 volt) può produrre una variazione di tensione di 40 volt nel circuito di placca; in altre parole, la tensione del segnale originale (applicato alla griglia) è stata amplificata 20 volte. Questo è il procedimento base per qualunque amplificazione con tubo a vuoto.

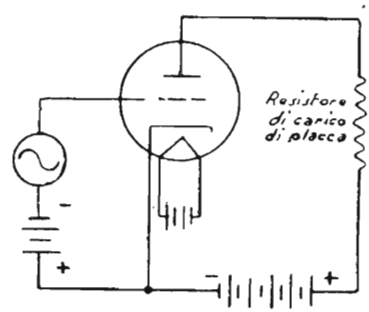


FIG. 65 - Triodo impiegante un resistore come carico di placca.

c) L'uso di un resistore quale impedenza di carico di un tubo a vuoto presenta uno svantaggio: la sua resistenza riduce la tensione continua effettiva applicata alla placca del tubo, e così riduce l'amplificazione del tubo. Per evitare questa perdita nella tensione di placca, sono spesso usati induttori come carichi di placca dei circuiti dei tubi a vuoto (fig. 66). Scegliendo un indut-

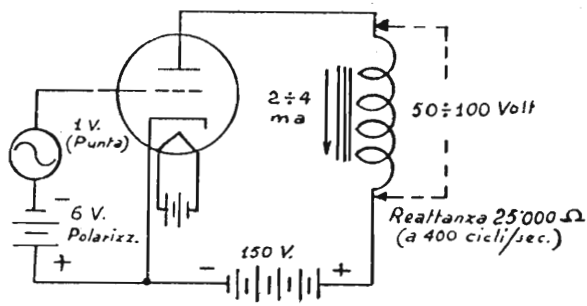


FIG. 66 - Triodo impiegante un induttore come carico di placca.

tore che ha un alto valore di reattanza alla frequenza della corrente alternativa, si svilupperà una grande tensione ai capi della reattanza per effetto delle variazioni di corrente di placca nel tubo. Tuttavia, la tensione di placca applicata alla placca del tubo sarà abbastanza alta, poichè la resistenza alla corrente continua di un induttore può essere molto piccola e, conseguentemente, l'amplificazione del tubo sarà accresciuta.

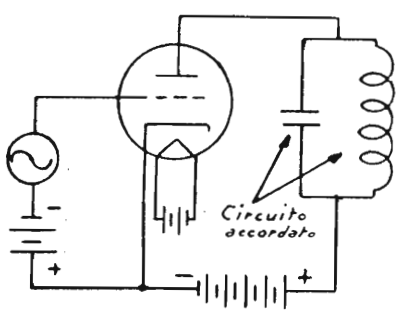


FIG. 67 - Triodo impiegante un circuito accordato come carico di placca.

d) Se è desiderato amplificare un segnale di una data frequenza può essere usato un circuito accordato, che risuona a questa frequenza, come carico di placca (fig. 67). Poichè l'impedenza di tale circuito sarà molto alta alla frequenza risonante, la tensione segnale che appare ai capi del circuito accordato sarà pure alta. Usando un circuito accordato come

carico di placca per un tubo a vuoto, è possibile ottenere l'amplificazione soltanto alla frequenza di risonanza del circuito accordato. Il circuito di figura 67 è quello tipico dei circuiti amplificatori a radiofrequenza usati nei trasmettitori radio.

39. Circuiti del triodo; metodi di polarizzazione.

a) Vi sono parecchi differenti metodi per ottenere una tensione di polarizzazione negativa di griglia per un triodo. Fra questi, il modo più semplice è quello della polarizzazione fissa, in cui una conveniente tensione negativa è ottenuta a mezzo di una sorgente fissa, tale come una batteria o un alimentatore di potenza a rettificatore. Esempi di questi tipi di polarizzazione sono mostrati nelle figure 59, 62 e 65.

b) Un circuito di un tubo a vuoto può essere disposto in modo da generare la propria tensione di polarizzazione, e tale metodo è chiamato di *autopolarizzazione*. Un tipo di autopolarizzazione, chiamato polarizzazione con resistore con il ritorno al catodo, è mostrato nel circuito dell'amplificatore a triodo di figura 68. In questo circuito, la corrente di placca proveniente dalla batteria fluisce nel resistore catodico, percorre il tubo e ritorna alla batteria attraversando il resistore di carico di placca. Poichè la corrente attraversa il resistore catodico fluendo verso il catodo, vi sarà una caduta di tensione ai capi di questo resistore che renderà la griglia negativa rispetto al catodo. Questa è la condizione appropriata per la polarizzazione. La convenienza di questo tipo di polarizzazione è evidente, poichè esso elimina la necessità di una sorgente separata di tensione polarizzante. Per questa ragione, la polarizzazione con resistore catodico è largamente usata sia nei trasmettitori che nei ricevitori. Omettendo il condensatore in parallelo al resistore, o con un valore di questo condensatore troppo piccolo, si produce della *degenerazione* (paragrafo 102 *c*) per effetto delle variazioni di polarizzazione di griglia che accompagnano allora le pulsazioni alternative della corrente di placca. Questo condensatore dovrebbe avere una bassa reattanza alla

frequenza del segnale, non permettendo così al resistore catodico di produrre cadute di tensione per effetto della tensione alternativa del segnale.

c) Un'altra forma di autopolarizzazione è chiamata la *polarizzazione per dispersione di griglia* ed è usata nei casi in cui fluisce

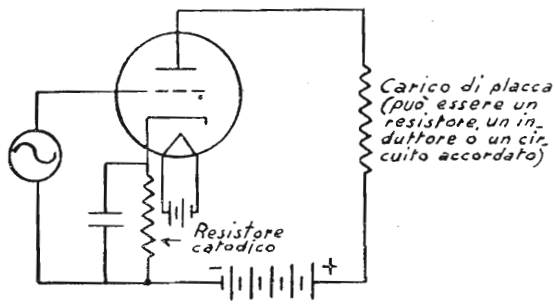


FIG. 68 - Circuito amplificatore a triodo con autopolarizzazione.

corrente di griglia. Due esempi di questo tipo di polarizzazione sono mostrati nella figura 69. La polarizzazione si verifica per effetto della caduta di potenziale ai capi del resistore quando

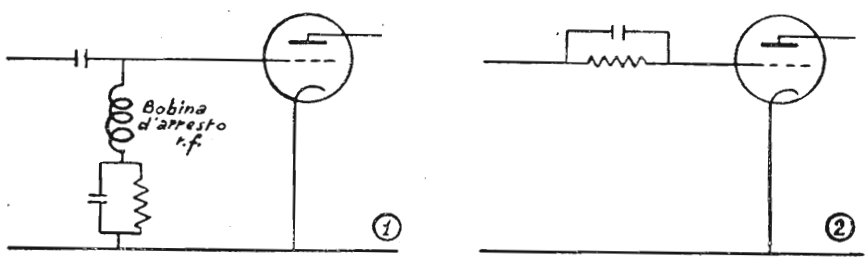


FIG. 69 - Polarizzazione per dispersione di griglia. — (1) Disposizione parallelo. — (2) Disposizione serie.

fluisce corrente di griglia nelle escursioni positive del segnale alternativo. Questo resistore è chiamato dispersore di griglia. Un condensatore ai capi del dispersore offre una bassa impedenza alla corrente alternativa, cosicchè la polarizzazione è essenzialmente continua in carattere ed è funzione soltanto dell'ampiezza della

corrente di griglia. Uno svantaggio della polarizzazione con dispersore di griglia è che se, per una qualunque ragione, è tolta l'eccitazione, viene tolta pure la polarizzazione e la corrente di placca può assumere pericolose proporzioni, provocando il danneggiamento del tubo a vuoto.

d) Per combinare il vantaggio della polarizzazione con dispersore di griglia e quella con batteria (o fissa), gli amplificatori dei trasmettitori usano spesso una combinazione in serie di entrambi i tipi. Dei tipi di tubi amplificatori sono convenientemente progettati, per quanto riguarda l'alimentazione della polarizzazione, per funzionare con la griglia al potenziale del catodo; questi sono conosciuti come tubi con polarizzazione zero.

40. Curve caratteristiche del triodo.

a) Vi sono due tipi generali di curve caratteristiche per triodi. Una curva è per il caso di circuito di placca senza carico ed è chiamata la *curva caratteristica statica*; l'altra è per il caso di un carico nel circuito di placca, ed è conosciuta come la *curva caratteristica dinamica*. Un impiego è già stato fatto delle curve statiche nelle figure 61, 63 e 64 in cui il tubo operava senza carico di placca. Tuttavia, in pratica, l'uscita di un tubo alimenterà una qualche specie di carico che può essere rappresentato da un certo valore di resistenza (assunta ad essere equivalente al carico). Con ciò si perviene a curve caratteristiche dinamiche che riflettono più accuratamente le condizioni di funzionamento del tubo. Un confronto delle curve statiche con quelle dinamiche, con i due circuiti che sono impiegati per ottenere ciascuna di esse, è mostrato nella figura 70 (3). La differenza di pendenza delle due curve è dovuta al fatto che il potenziale fra placca e catodo in assenza di carico è costante, indipendentemente dalla corrente di placca, mentre con un carico nel circuito di placca, il potenziale ai capi del carico (e conseguentemente il potenziale fra placca e catodo) varia con la corrente. Assumiamo che il punto di funzionamento normale cioè senza segnale sia lo stesso tanto per il tubo con carico esterno

che per quello senza carico; cioè riguardiamo il punto di funzionamento normale come punto di intersezione delle due curve di figura 70 (3). Senza carico esterno [fig. 70 (1)], per un'escursione positiva A [fig. 70 (3)] del potenziale del segnale, la corrente di placca aumenta di un importo B. Con un carico esterno [fig. 70 (2)] l'aumento di corrente conseguente ad un'escursione positiva di griglia è a sua volta accompagnato da una caduta di potenziale ($I \times R$) ai capi del resistore di carico (come da lettura del voltmetro V_2). Pertanto il potenziale disponibile fra placca e catodo nell'interno del tubo (come da lettura del voltmetro V_1)

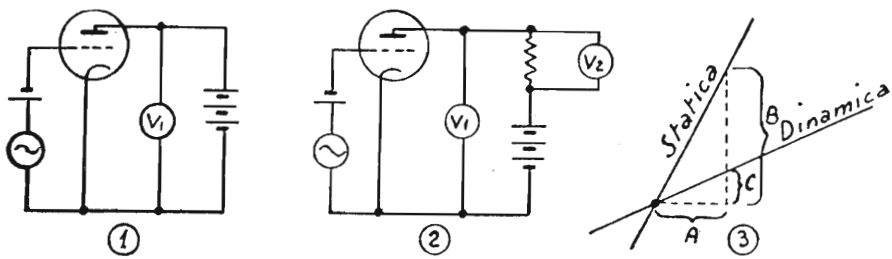


FIG. 70 - Curve caratteristiche del triodo: (1) senza carico esterno - (2) con carico esterno - (3) caratteristiche corrispondenti.

è diminuito; allora il conseguente aumento di corrente C è minore di quello che si verifica per la condizione di assenza di carico. Sul mezzo ciclo negativo della tensione del segnale, la corrente di placca diminuisce e la caduta di potenziale ai capi del carico diventa minore del valore che aveva quando non era applicato il segnale. Pertanto la tensione attraverso il tubo cresce, cosicchè il potenziale disponibile fra placca e catodo eccede il valore corrispondente alla condizione di assenza di carico. Un complesso tipico di curve statiche corrente di placca–tensione di griglia per vari potenziali di placca è mostrato dalla figura 71. Molti manuali sui tubi a vuoto limitano le caratteristiche illustrate alle famiglie di curve del tipo statico.

b) Si osservi dal complesso di curve caratteristiche di figura 72, che delle tre quantità: potenziale di griglia, potenziale di placca e corrente di placca, due qualunque di esse determinano la terza.

Così, in corrispondenza ad una corrente di placca di 10 milliampère e ad un potenziale di placca di 50 volt, il richiesto potenziale di griglia è di — 8 volt. Supponiamo che sia desiderato ottenere la stessa relazione: corrente di placca di 10 milliampère, potenziale

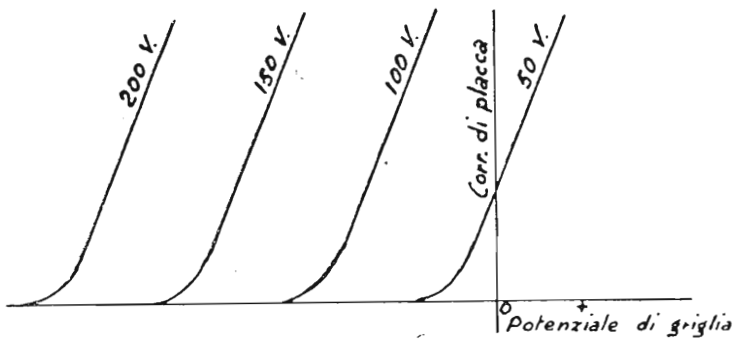


FIG. 71 - Curve caratteristiche del triodo corrente di placca-potenziale di placca.

di placca di 50 volt e potenziale di griglia di — 8 volt con una resistenza di carico di 4.000 ohm. Ciò richiede una tensione complessiva di alimentazione di placca di 50 + (4.000 × 10/1.000) volt = 90 volt, di cui 50 ai capi del tubo e 40 ai capi della resistenza

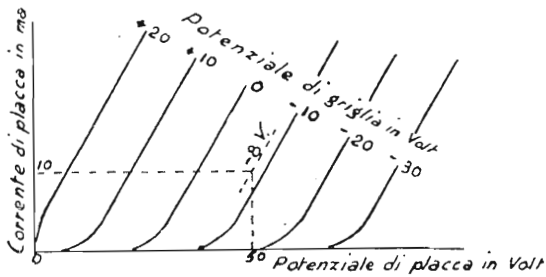


FIG. 72 - Curve caratteristiche del triodo corrente di placca - potenziale di placca.

di carico. La corrente nella resistenza di carico segue la legge di Ohm, ossia la corrente che percorre la resistenza è proporzionale alla tensione dei suoi capi. Questa proporzionalità può essere rappresentata da una linea retta sul grafico corrente–tensione di

figura 73. La linea è determinata da due punti qualunque di essa, due punti convenienti essendo P e Q, come in figura 73 (1). P è una corrente di 10 milliampère ed una caduta di tensione ai capi della resistenza di 40 volt (50 volt attraverso il tubo); Q è corrente zero e caduta zero ai capi della resistenza (90 volt attraverso il tubo). Se P è considerato come il punto di funzionamento normale, l'escursione di griglia dovuta alla tensione del segnale impresso produrrà delle variazioni lungo questa linea di carico in

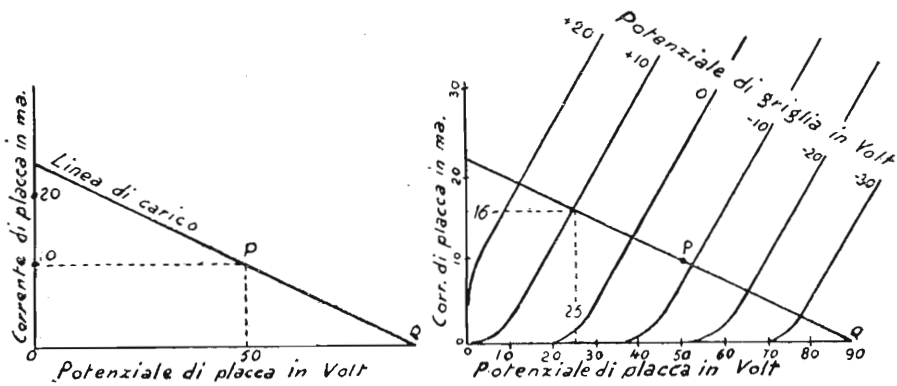


Fig. 73 - Linea di carico per un triodo.

entrambe le direzioni che partono da P. In corrispondenza ad un potenziale istantaneo di griglia di 10 volt, la corrente di placca, la tensione di placca e la tensione ai capi del carico possono essere trovate determinando il punto in cui la caratteristica di 10 volt interseca la linea di carico. Dalle curve di figura 73 (2), questo fornisce: 16 milliampère per la corrente di placca, 25 volt per il potenziale di placca e $90 - 25 = 65$ volt di caduta ai capi del carico. La famiglia delle curve corrente di placca–potenziale di placca è così utile per determinare le possibilità di un tubo particolare sotto varie condizioni di funzionamento. Può essere scelto un tubo particolare per soddisfare a determinate costanti circuitali, oppure, viceversa, con l'aiuto delle informazioni contenute nelle caratteristiche del tubo a vuoto.

41. Caratteristiche speciali dei tubi a vuoto.

a) Poichè sono usati nei moderni circuiti radio molti differenti tipi di tubi a vuoto, è importante poter disporre di mezzi differenti per classificare questi tubi in accordo con le caratteristiche da essi presentate. Queste caratteristiche sono: il *fattore di amplificazione*, la *conduttanza mutua*, e la *resistenza di placca* del tubo.

b) Il *fattore di amplificazione* μ (mu) di un tubo è il rapporto della variazione di tensione di placca alla variazione di tensione di griglia richiesta per produrre nel tubo la stessa variazione di corrente di placca. Per esempio, se la tensione di placca di un tubo deve essere accresciuta di 20 volt per poter aumentare la corrente di placca di tanto di quanto la farebbe aumentare 1 volt di variazione della tensione di griglia, si dice allora che il fattore di amplificazione del tubo è di 20. Il fattore di amplificazione di un tubo è riferito ad un dato complesso di condizioni di funzionamento, tali come la tensione di polarizzazione di griglia, la tensione di placca, ecc., poichè il fattore di amplificazione cambia se cambiano queste condizioni. Il fattore di amplificazione di un dato tubo è una approssimazione teorica dell'amplificazione di tensione massima che ci si può attendere dal tubo in date condizioni di funzionamento.

c) La *conduttanza mutua* o *trasconduttanza* di un tubo è una caratteristica a mezzo della quale può essere stimata la sensibilità di potenza, poichè essa determina quale variazione di corrente di placca ci si può attendere da una data variazione di tensione di griglia per un dato complesso di condizioni di funzionamento. La conduttanza mutua o trasconduttanza è il rapporto di una piccola variazione di corrente di placca alla variazione di tensione di griglia che la produce. Essa è misurata in *mho*, che è semplicemente il termine ohm scritto in senso inverso. Per esempio, se una variazione di tensione di griglia di 1 volt produce una variazione di corrente di placca di 1 ampère in un dato tubo sotto date condizioni di funzionamento, il tubo avrà una conduttanza mutua di 1 mho. Poichè pochissimi tubi sopporterebbero una corrente

di 1 ampère (i tubi riceventi assorbono una corrente anodica di soltanto pochi milliampère), è più conveniente misurare la conduttanza mutua in micromho (o milionesimi di mho). Così, se un tubo ha una conduttanza mutua di 5.000 micromho, 1 volt di variazione di tensione di griglia produrrà una variazione di 5 milliampère nella corrente di placca.

d) La *resistenza di placca* di un tubo è semplicemente la resistenza fra il catodo e la placca del tubo presentata alla corrente alternata. Essa è il rapporto fra una piccola variazione di tensione anodica e la corrispondente variazione nella corrente di placca. Per esempio se una variazione di 10 volt nella tensione anodica produce una variazione di 1 milliampère nella corrente di placca, la resistenza di placca del tubo è di 10.000 ohm.

42. **Capacità infraelettrodiche.**

L'inerente capacità fra gli elementi di griglia e di placca di un triodo è di importanza tale alle alte frequenze da richiedere considerazioni speciali nei radiocircuiti. Quando questa capacità è indesiderabile, essa può essere controbilanciata a mezzo di un circuito neutralizzante che presenta potenziali a radiofrequenza eguali in ampiezza, ma opposti in fase a quelli che si verificano attraverso la capacità infraelettrodica, con il risultato che l'effetto della capacità infraelettrodica è annullato. Le complicazioni del circuito aggiuntivo possono essere generalmente eliminate usando dei tetrodi o dei pentodi, che sono tubi rispettivamente a 4 e a 5 elementi particolarmente progettati per avere bassa capacità infraelettrodica. La capacità griglia–placca di un ordinario triodo ricevente si aggira intorno ai 3 micromicrofarad. Questa rappresenta una reattanza capacitiva di 53.000 ohm ad 1 megaciclo e soltanto di 530 ohm e 100 megacicli. I tetrodi e i pentodi offrono reattanze corrispondenti di circa 16.000.000 di ohm ad 1 megaciclo e 160.000 a 100 megacicli.

43. **Tetrodi.**

a) Nello sforzo di ridurre la capacità griglia–placca del tubo (paragr. 42), è stato aggiunto un quarto elemento al triodo convenzionale. Questo quarto elemento è chiamato *griglia–schermo* ed è posto fra la griglia e la placca del tubo. Un tubo a griglia schermo o tetrodo (4 elementi) tipico connesso in un circuito è mostrato in figura 74. Si osservino le varianti di questo circuito dovute

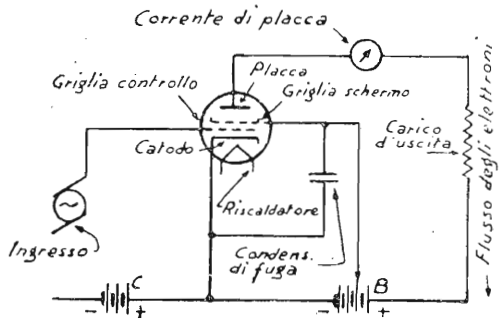


FIG. 74 - Circuito amplificatore a tetrodo.

all'aggiunta della griglia–schermo. Da notare che la griglia schermo è portata ad una tensione positiva un po' più bassa di quella applicata alla placca. Poichè la griglia schermo funziona con una tensione positiva, essa assiste la placca nell'attrarre gli elettroni dal catodo.

Una parte di questi elettroni saranno attratti dallo schermo per effetto della tensione positiva esistente su di esso, determinando così una corrente di schermo nel circuito. Tuttavia, poichè la costruzione della griglia schermo è simile a quella della griglia controllo, il maggior numero di elettroni passerà negli spazi fra i suoi fili e raggiungerà la placca, per effetto dell'attrazione dovuta alla tensione positiva più alta della placca. Poichè la griglia schermo è sciuntata a massa da un condensatore di fuga di schermo avente una piccola reattanza alla frequenza del segnale, essa agisce come uno schermo fra la griglia e la placca e così riduce effettivamente la capacità fra questi due elettrodi.

b) Se in questo circuito la griglia schermo non è portata ad una tensione positiva, ma è connessa al catodo, essa avrà un effetto di controllo sul flusso elettronico, simile a quello della griglia controllo del tubo, riducendo così il flusso della corrente di placca ad un valore troppo piccolo pr un funzionamento soddisfacente. Il valore della tensione positiva sulla griglia schermo di un tetrodo è quello che determina principalmente il valore massimo di corrente che fluisce nel circuito di placca. Pertanto, le tensioni di schermo non appropriate possono causare un funzionamento errato nei circuiti amplificatori con tetrodo.

c) Il tetrodo ha parecchi vantaggi rispetto al triodo, in aggiunta alla ridottissima capacità griglia–placca. Fra questi sono da notare un fattore di amplificazione più elevato ed una sensibilità di potenza più grande. In generale, i tetrodi possono essere usati per gli stessi scopi dei triodi. Poichè i tetrodi furono studiati per evitare la neutralizzazione nei circuiti amplificatori a radiofrequenza, essi sono stati largamente usati negli stadi amplificatori a radiofrequenza dei ricevitori e trasmettitori radio.

44. **Pentodo.**

a) Benchè il tetrodo sembri un tubo ideale, poichè esso elimina lo svantaggio dovuto alla più alta capacità griglia–placca del triodo e, nello stesso tempo, esso è capace di fornire in un circuito un'amplificazione più alta di quella del triodo, l'effetto conosciuto come l'*emissione secondaria* limita in forte misura la sua applicazione. Il pentodo, o tubo a 5 elementi, è stato sviluppato per superare l'effetto della emissione secondaria. Se un tetrodo è fatto funzionare con tensioni di placca e di schermo abbastanza alte e se sono applicate alla sua griglia controllo delle tensioni di valore elevato, gli elettroni che colpiscono la placca con forza sufficiente fanno rilasciare alla placca altri elettroni già esistenti sulla sua superficie. Questi altri elettroni, conosciuti come *elettroni secondari*, sono attratti dalla tensione positiva esistente sulla griglia schermo. Quando avviene l'emissione secondaria, lo

schermo acquista una aliquota maggiore degli elettroni disponibili; mentre il numero di quelli che raggiungono la placca è grandemente ridotto. Così aumenterà la corrente di schermo mentre decrescerà la corrente di placca, causando una riduzione nell'amplificazione del tubo ed una distorsione nella sua uscita.

b) Se una terza griglia è posta fra la griglia schermo e la placca del tetrodo, ed è connessa al catodo in modo da avere la stessa carica di elettroni, essa forzerà ogni elettrone secondario a ritornare sulla placca, poichè cariche uguali si respingono fra di loro. Questa griglia è chiamata *griglia soppressore*, poichè essa sopprime gli effetti dell'emissione secondaria impedendo che il flusso degli elettroni secondari raggiunga lo schermo. La griglia soppressore non ridurrà il flusso di elettroni alla placca, pur pensando che essa è fatta funzionare ad un potenziale negativo. Ciò, perchè essa è posta così vicina alla placca per cui la attrazione della tensione positiva sulla placca è molto più grande di qualunque tendenza, da parte della griglia soppressore, a respingere gli elettroni.

c) Un pentodo usato in un circuito amplificatore tipico è mostrato dalla figura 75. Da notare che la sola differenza fra que-

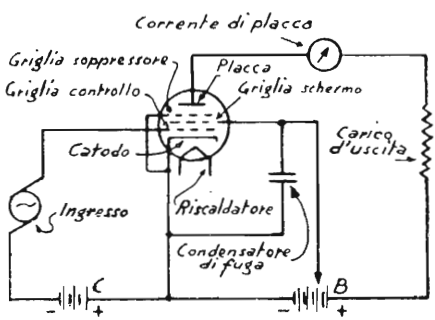


FIG. 75 - Circuito amplificatore a pentodo.

sto circuito ed il circuito amplificatore del tetrodo di figura 74 è data dall'aggiunta della griglia soppressore.

Sia il catodo che la griglia soppressore sono allo stesso potenziale.

d) La costruzione di un pentodo tipico amplificatore di potenza è mostrata dalla figura 76. Tale tubo è conveniente per essere impiegato negli stadi di potenza d'uscita dei radioricevitori.

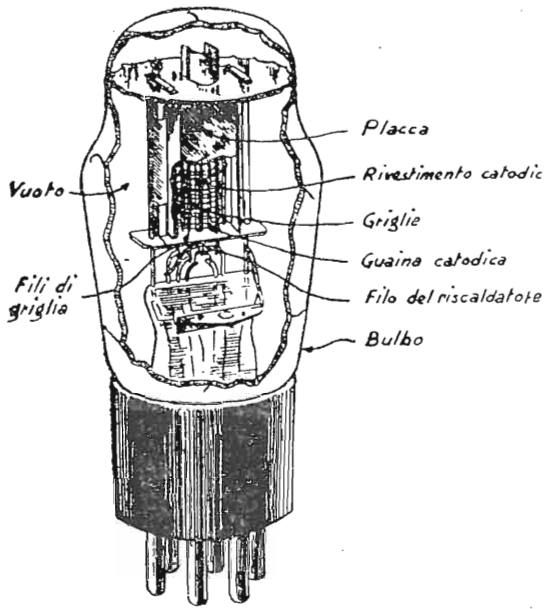


FIG. 76 - Pentodo tipico.

45. **Tubo a mu-variabile.**

a) L'amplificazione di un tubo può essere controllata facendo variare la tensione di polarizzazione applicata alla griglia, ma normalmente l'estensione di questo controllo è limitata dal valore della tensione d'interdizione del tubo. È molto desiderabile che negli amplificatori a radiofrequenza dei ricevitori, il guadagno, controllato dal controllo automatico di volume, sia in grado di poter variare l'amplificazione entro una gamma molto più estesa,così da poter manipolare valori forti di tensione–segnale. Per poter realizzare questa estensione di gamma del controllo del guadagno, sono stati sviluppati i tubi a mu–variabile. Questo tipo di

tubo è pure conosciuto con altre denominazioni, due delle quali sono: tubo a *super controllo* e *tubo a remoto punto d'interdizione.* La sola differenza nella costruzione fra i tubi mu–variabile e quelli normali, o ad *acuto punto d'interdizione* è data dalla spaziatura fra le spire della griglia. Nei tubi ad interdizione acuta, le spire della griglia sono ugualmente spaziate, mentre nel tipo con punto d'interdizione remoto le spire delle griglie sono più ravvicinate su entrambe l'estremità e più largamente intervallate al centro. Quando sono applicate alla griglia di un tubo mu–variabile piccole tensioni negative, gli elettroni potranno passare attraverso tutti i vuoti fra i fili di griglia. Tuttavia, aumentando la tensione negativa, gli elettroni non saranno più in grado di passare attraverso gli intervalli stretti che si hanno nelle estremità della struttura di griglia, benchè essi siano tuttora in grado di attraversare gli intervalli relativamente più estesi al centro della griglia.

Sarà pertanto richiesto un valore di tensione negativa molto più grande per far cessare o interdire la corrente di placca in questo tipo di tubo. Questo tubo a remoto punto d'interdizione è così chiamato perchè il valore della tensione di polarizzazione di interdizione è più grande di quello richiesto per interdire la corrente in un tubo con spire di griglia uniformemente spaziate.

b) La figura 77 mostra le curve $E_G - I_P$ per un pentodo ad interdizione acuta e per un pentodo tipico a remoto punto d'interdizione. Da notare che la polarizzazione d'interdizione per il tubo con la griglia uniformemente spaziate è di — 6 volt. Così, la gamma del controllo di guadagno che può essere realizzata, variando la tensione di polarizzazione di griglia, ed il valore massimo della tensione–segnale che può essere applicata alla griglia, sono entrambi limitati. Ma la curva per il pentodo a supercontrollo mostra che la corrente di placca fluisce ancora pur portando la tensione di polarizzazione di griglia a — 24 volt. Quindi, impiegando un tubo a mu–variabile possono aumentare notevolmente sia l'ampiezza del controllo di guadagno, per effetto di variazioni della tensione di polarizzazione, sia il valore della tensione–segnale che può essere manipolato.

c) I pentodi a mu–variabile sono usati negli stadî amplificatori a radiofrequenza di praticamente tutti i moderni ricevitori radio. Essi non sono generalmente usati negli amplificatori ad audiofrequenza, per effetto della notevole curvatura o non linearità delle curve $E_G - I_P$ che produrrebbero distorsione nella tensione d'uscita qualora fossero applicati alla griglia delle tensioni segnali elevate.

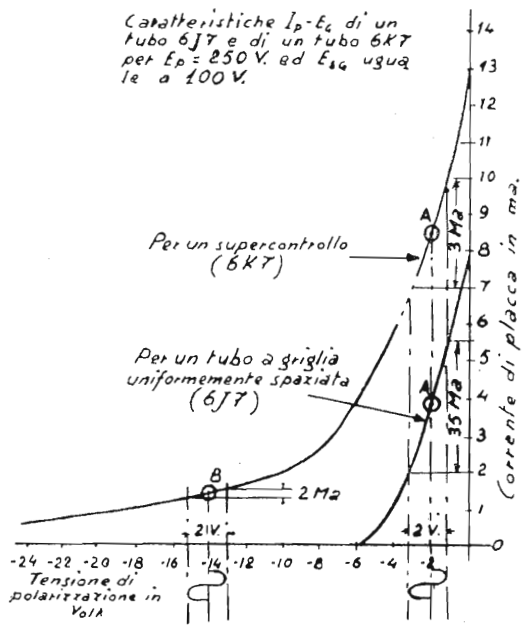


FIG. 77 – Confronto fra un pentodo ad interdizione ripida ed un pentodo ad interdizione remota.

46. **Tubo di potenza a fascio.**

a) In questi ultimi tempi è stato sviluppato un nuovo tipo di tubo amplificatore di potenza. Comparato agli altri tubi amplificatori di potenza a tetrodo e a pentodo, questo tubo possiede i vantaggi di una potenza d'uscita più alta, di una sensibilità di potenza più grande e di un rendimento più elevato. Questo tipo di tubo è chiamato *tubo di potenza a fascio*, giacchè, per effetto della

sua costruzione, gli elettroni sono portati a fluire secondo un fascio concentrato che partendo dal catodo, attraversa le griglie, e arriva alla placca. La sola differenza in costruzione fra il tubo di potenza a fascio ed i pentodi ed i tetrodi normali è data dal fatto che gli spazi fra le spire delle griglie sono allineati e che sono previste due « placche formatrici » del fascio. La figura 78 mostra la costruzione interna di un tetrodo di potenza a fascio. Poichè gli spazi fra le spire delle griglie sono allineati, pochi elettroni col-

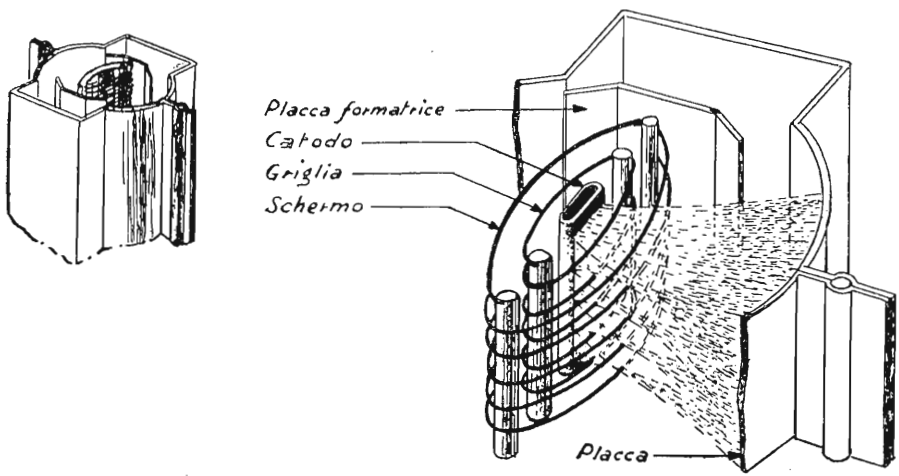


FIG. 78 - Struttura interna di un tubo di potenza a fascio.

piranno la griglia schermo. La corrente di schermo sarà pertanto diminuita, mentre la corrente di placca sarà accresciuta. Poichè la potenza di uscita di un circuito è proporzionale al valore della corrente di placca che attraversa il carico, la potenza di uscita sarà così aumentata. Le due placche formatrici del fascio sono usualmente connesse al catodo ed avendo la medesima carica di elettroni, fanno sì che gli elettroni fluiscano secondo un fascio che partendo dal catodo, dopo aver attraversato le griglie, arriva alla placca. L'ubicazione delle placche formatrici del fascio è tale che esse forzano gli elettroni a fluire attraverso le desiderate porzioni delle griglie, e impediscono agli elettroni di colpire i fili che sostengono le griglie. Pertanto, dato che gli elettroni percorrono

un fascio, il numero di essi che raggiungono la placca può essere accresciuto, aumentando così notevolmente l'efficienza operativa del tubo.

b) La figura 79 illustra un circuito amplificatore di potenza ad audiofrequenza che impiega un tetrodo di potenza a fascio. Da notare che in questo caso le placche formatrici del fascio sono connesse al catodo nell'interno del tubo.

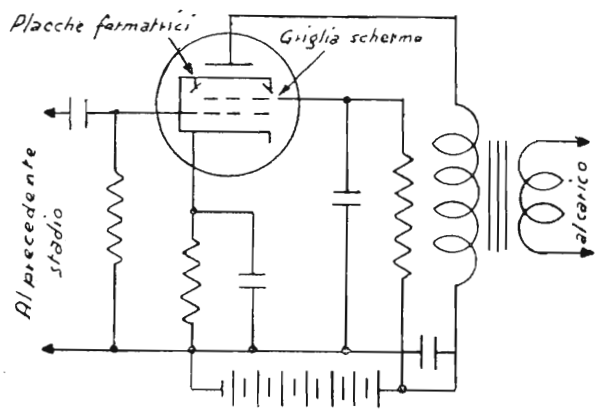


FIG. 79 — Tetrodo di potenza a fascio di un amplificatore di potenza ad audiofrequenza.

c) Un tubo di potenza a fascio che opera alle stesse tensioni di un tipo normale di tetrodo o di pentodo produrrà più potenza d'uscita, per una data tensione-segnale (ingresso), di questi ultimi ed avrà una efficienza di circuito di placca molto più elevata. Sia i tetrodi a fascio che i pentodi a fascio sono impiegati nei ricevitori e trasmettitori radio.

Nei tetrodi a fascio, l'effetto dell'emissione secondaria è ridotta ad un minimo dall'azione del fascio e dalla presenza delle placche formatrici del fascio. I tubi di potenza a fascio sono largamente usati come amplificatori a radiofrequenza e ad audiofrequenza nei trasmettitori radio e come amplificatori ad audiofrequenza di uscita nei radioricevitori.

47. Tubi a molti elementi.

a) In aggiunta ai diodi, triodi, tetrodi e pentodi che sono stati studiati, vi sono molte specie di tubi a vuoto impiegati nei circuiti radio; ne sono usati un grande numero di tipi in cui gli elettrodi di due o più tubi sono posti entro un unico inviluppo. Questi tubi complessi sono usualmente denominati in accordo ai tipi equivalenti ad inviluppo singolo di cui sono composti. Così un doppio triodo contiene gli elettrodi di due triodi in un inviluppo. Altri tubi complessi sono: i *diodi–triodi*, i *diodi–pentodi* e i *triodi–pentodi*. Un tipo di tubo complesso, recentemente introdotto, comprende le funzioni di tre tubi in un solo inviluppo e cioè un diodo, un triodo ed un pentodo di potenza d'uscita. Per quanto complessi, questi tubi obbediscono alle regole basi date per il funzionamento di ogni tubo. Per comprendere il funzionamento in un circuito di uno di questi tubi, è solo necessario considerare l'effetto dei vari elettrodi sul flusso degli elettroni entro il tubo.

b) il *tubo pentagriglia-convertitore* è un tipo speciale che ha cinque griglie ed è usato in un certo stadio del ricevitore a supereterodina in sostituzione di due separati tubi a vuoto. Il tubo pentagriglia–convertitore è usato per la conversione di frequenza (*vedere* Capitolo VIII).

c) Il *doppio diodo–triodo* ed il *doppio diodo–pentodo* sono due tipi popolari di tubi riceventi. Nei circuiti dei ricevitori, uno dei diodi è usato insieme con il catodo come un circuito rivelatore a diodo, mentre l'altro diodo è usato insieme al catodo per rettificare la tensione del controllo automatico di volume. La sezione triodo o pentodo di tali tubi è usata come un amplificatore ad audiofrequenza.

48. Catodi a riscaldamento diretto ed indiretto.

a) Un catodo che ha la forma di un filamento ed è direttamente riscaldato dalla corrente che l'attraversa ha lo svantaggio di introdurre delle ondulazioni (« ripple ») nella corrente di placca, quando è usata della corrente alternata per il riscaldamento.

Queste ondulazioni sono più dannose quando i ritorni di placca e di griglia sono connessi ad una estremità del filamento. Nella figura 80 il resistore AB rappresenta un filamento che è riscaldato applicandovi una tensione alternata di 5 volt. Quando non fluisce corrente nel tubo, la placca è mantenuta ad un potenziale di 100 volt sopra quello del punto B. Per una corrente continua di placca di 5 milliampère, il potenziale attraverso il tubo da B alla placca è sempre di $100 - (2.000 \times 5/1.000) = 90$ volt; laddove il potenziale dal punto A alla placca varia fra 85 e 95 volt, in dipendenza del potenziale del punto A rispetto a quello del punto B. La corrente totale di placca aumenta e diminuisce alla frequenza della corrente del filamento. A questa condizione si pone rimedio in forte misura connettendo i ritorni di placca e di griglia al centro elettrico del filamento, come nelle figure 81 (1) e (2).

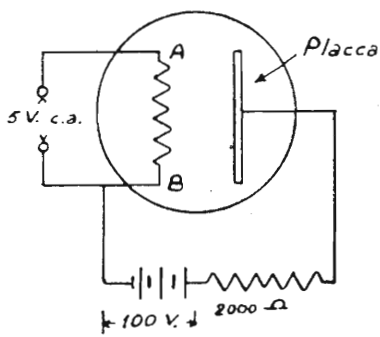


FIG. 80 - Catodo a riscaldamento diretto.

Ma pure con una disposizione a ritorno centrale, con una corrente per il filamento a 60 cicli, vi è tuttora presente una modulazione della corrente di placca a 120 cicli. Questa ondulazione a frequenza doppia è dovuta agli effetti provocati sulla corrente di placca dall'aumento e diminuzione della temperatura del filamento, dalla caduta di tensione nel filamento e dal campo magnetico alternato creato dalla corrente del filamento. Le fluttuazioni di temperatura del filamento sono ordinariamente trascurabili. Il campo magnetico attorno al filamento fa deflettere gli elettroni dai loro cammini normali ed, in effetti, riduce la corrente di placca. La corrente di placca risultante ha il valore più grande quando la corrente riscaldante ha il valore istantaneo zero, cioè ad intervalli che si succedono con una frequenza doppia di quella della corrente di accensione. Con una caduta di tensione nel filamento, la corrente spaziale proveniente dalla metà negativa del filamento,

eccede quella della metà positiva, dato il modo con cui la corrente spaziale varia con il campo elettrostatico attraverso il tubo (la corrente spaziale varia secondo la potenza tre metà del potenziale di placca). Come risultato complessivo si ha che in ciascun istante, in cui la corrente del filamento è ad un massimo in entrambe le direzioni (cioè con una frequenza doppia di quella della corrente di accensione), la corrente spaziale è leggermente più grande del valore che ha negli istanti in cui la corrente del filamento è zero ed il potenziale del filamento è uniforme.

b) Nei tubi trasmittenti e negli stadî di potenza di un ricevitore le correnti del segnale sono grandi e le fluttuazioni a frequenza doppia sono al confronto trascurabili. Per contro, in tutti gli altri tubi dei ricevitori sono necessari i catodi a riscaldamento indiretto [fig. 81 (3)] quando l'accensione del filamento è fatta con corrente

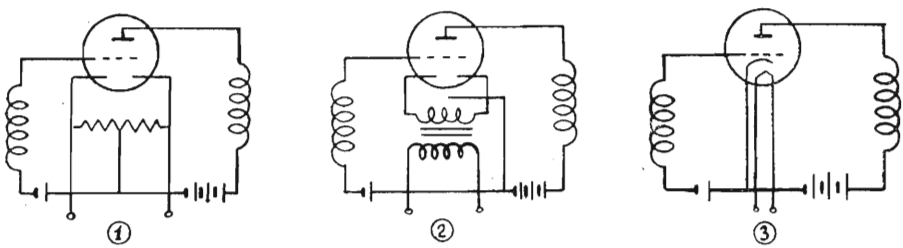


FIG. 81 - Metodi di utilizzazione dell'alimentazione del filamento in c. a.

alternata. Un catodo a riscaldamento indiretto è formato da una guaina metallica che circonda molto da vicino un filamento riscaldato e che è isolata elettricamente dal filamento. Il catodo è riscaldato dal calore irradiato dal filamento. Tale emettitore è qualche volta chiamato catodo equipotenziale, poichè tutte le parti di esso sono allo stesso potenziale. Per semplicità, gli elementi riscaldatori dei tubi e dei circuiti della potenza riscaldante non sono mostrati negli schemi di questo manuale.

CAPITOLO V

RIVELATORI CON TUBI A VUOTO

49. Rivelazione.

a) Vi sono due specie generali di segnali a radiofrequenza che possono essere ricevuti da un radioricevitore: i *segnali a radiofrequenza modulati* che trasportano la parola, la musica od altri suoni ed i *segnali ad onde continue* che sono « pacchi » di energia a radiofrequenza convoglianti un codice. Questi tipi di segnali a radiofrequenza sono descritti con più dettagli nei Capitoli XI e XII. Il procedimento con cui l'informazione (« l'intelligenza ») trasportata da un segnale a radiofrequenza è rivelata nella forma di segnale ad audiofrequenza, è chiamato *rivelazione* o *demodulazione*.

b) Il segnale a radiofrequenza modulato può essere rivelato da uno dei parecchi tipi di rivelatori con tubi a vuoto: il semplice *rivelatore a diodo*, il *rivelatore a caratteristica di griglia*, il *rivelatore di placca* e il *rivelatore rigenerativo*. Il segnale ad onde continue è rivelato generalmente dal *rivelatore eterodina*.

50. Rivelazione della fonia.

Nel paragrafo 5 è stato mostrato che un segnale modulato o radiofonico è prodotto controllando l'uscita a radiofrequenza di un trasmettitore con una tensione ad audiofrequenza. Il disegno di figura 82 mostra una tensione a radiofrequenza, una tensione ad audiofrequenza e le due tensioni combinate in modo da formare la *tensione-segnale modulata*. Il segnale modulato è la forma d'onda della tensione che appare nel circuito d'antenna di un radioricevitore quando è ricevuta un'onda modulata. Il rivelatore, allora, deve separare la tensione ad audiofrequenza dalla tensione a radio-

frequenza, in modo che la tensione ad audiofrequenza possa essere convertita in suono a mezzo della cuffia o dell'altoparlante. Il rivelatore deve cioè demodulare il segnale.

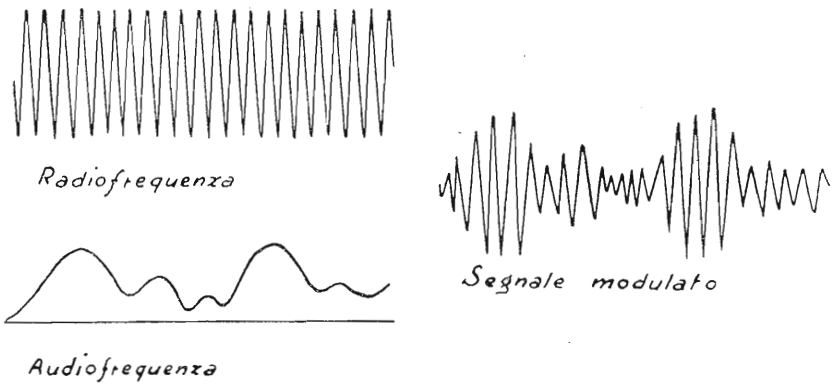


FIG. 82 - Formazione di una forma d'onda modulata.

51. Diodo quale rivelatore.

a) Nello studio del diodo come rettificatore (paragr. 35) è stato mostrato che il diodo è conduttore quando la tensione di placca è positiva, e che non è conduttore quando la tensione di placca è negativa. Questa proprietà del tubo lo rende idoneo alla rivelazione dei segnali a radiofrequenza.

b) L'azione di un diodo quale rivelatore può essere meglio spiegata esaminando un semplice radioricevitore a diodo (fig. 83). In questo ricevitore, la tensione–segnale a radiofrequenza modulata apparirà ai capi del circuito accordato parallelo formato dalla bobina L e dal condensatore variabile C_1 quando questo circuito d'antenna è accordato alla risonanza con il segnale a radiofrequenza in arrivo. Poichè il diodo è connesso a questo circuito d'antenna, esso rettificherà la tensione–segnale e la corrente–segnale rettificata attraverserà la cuffia producendo, pertanto, il suono. Evidentemente, la parte o la componente ad audiofrequenza della tensione che appare ai capi della cuffia non deve essere filtrata via poichè è questa tensione che produce il suono. Ma la

cuffia avrà una reattanza estremamente alta alla frequenza del segnale in arrivo, che riduce l'importo di corrente a radiofrequenza fluente nel circuito. Per questa ragione il condensatore C_2 è posto in parallelo alla cuffia (fig. 83). La grandezza di questo conden-

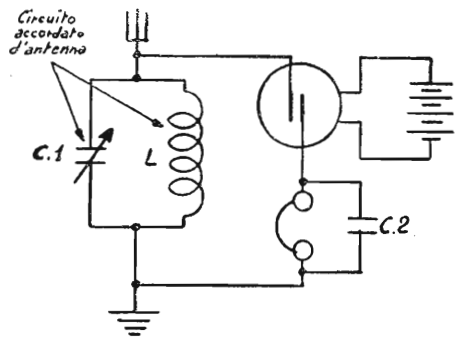


FIG. 83 - Radioricevitore semplice a diodo.

satore è scelta in modo da presentare una reattanza bassa alle radiofrequenze ed una reattanza relativamente alta alle audiofrequenze; il condensatore presenta così un'opposizione minima al flusso delle correnti a radiofrequenza nell'intero circuito, mentre il flusso delle correnti ad audiofrequenza incontra in esso l'opposizione massima. Conseguentemente ai capi della cuffia appare la massima tensione ad audiofrequenza. La figura 84 mostra questa tensione rettificata che appare ai capi della cuffia, sia con condensatore di passaggio C_2 connesso che con condensatore non connesso.

c) L'azione del diodo quale rivelatore è essenzialmente la stessa di quella come rettificatore, poichè il diodo rivela effettiva-

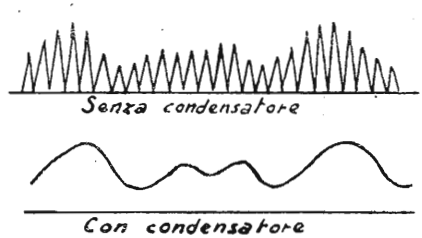


FIG. 84 - Effetto di un condensatore di passaggio.

mente i segnali a radiofrequenza rettificandoli. Il circuito mostrato dalla figura 83 è il circuito rivelatore base di molti radioricevitori adesso in uso. Tuttavia, il diodo non amplifica il segnale mentre lo rivela e quindi il suo impiego quale rivelatore richiede parecchi stadî a monte di amplificazione a radiofrequenza onde portare il livello del segnale fino ad un punto avente un'uscita soddisfacente. Ciò è fatto nei radioriceventi moderni con un grande numero di tubi. Tuttavia, se un complesso radio deve usare un numero più piccolo di tubi e conseguentemente deve avere un minor numero di stadî di amplificazione, esso deve possedere un rivelatore più sensitivo del diodo; in altre parole, il rivelatore deve amplificare il segnale mentre lo rivela. Il triodo è un rivelatore che soddisfa a questi requisiti.

52. Rivelatore a caratteristica di griglia.

a) Il rivelatore a caratteristica di griglia funziona come un diodo rivelatore seguito da uno stadio di amplificazione a triodo. La figura 85 mostra soltanto la griglia ed il catodo di un triodo connessi come un diodo rivelatore; la griglia del triodo agisce come la placca del diodo. Si può vedere che il resistore della griglia costituisce il carico per il circuito del diodo, mentre il condensatore di griglia è il condensatore di passaggio della radiofrequenza o condensatore filtro del circuito. Quando una tensione–segnale alternativa modulata è applicata al circuito di figura 85, fluirà corrente attraverso il tubo soltanto nei mezzi cicli positivi e conseguentemente il segnale sarà rettificato, ossia rivelato. Poichè gli elettroni fluiscono soltanto dal catodo alla « placca » del diodo, la caduta di tensione attraverso il resistore della griglia, causata dal flusso di corrente nei mezzi cicli positivi, renderà la « placca » del diodo (ossia la griglia del triodo) negativa rispetto al catodo. Questa tensione–segnale rettificata agisce così come tensione di polarizzazione per la griglia del triodo.

b) Consideriamo adesso il circuito rivelatore completo a caratteristica di griglia mostrato dalla figura 86. Poichè la polarizza-

zione per il triodo è prodotta dalla rettificazione della tensione-segnale modulata, la polarizzazione aumenterà e decrescerà di valore in proporzione alla modulazione del segnale a radiofrequenza (ossia a frequenza audio). In altra parole, la tensione di griglia varierà giusto nello stesso modo come accadeva nella figura 62, in cui una tensione alternativa era applicata alla griglia (di un triodo) in serie con una sorgente di tensione negativa fissa di polarizzazione di griglia. Poichè la corrente di placca del triodo è

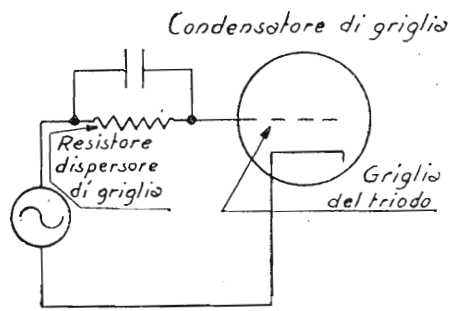


FIG. 85 - Comportamento del triodo come un diodo.

determinata dalla tensione di griglia, la corrente di placca nel circuito di figura 86 varierà proporzionalmente alla tensione che appare ai capi del resistore della griglia. In questo circuito la corrente di placca fluisce attraverso la cuffia, quale carico. La caduta di tensione ai capi della cuffia, prodotta dalle variazioni della corrente di placca, sarà pertanto una riproduzione amplificata della tensione che appare ai capi del resistore di dispersione di griglia. Il condensatore che nella figura 86 è posto in parallelo alla cuffia, dà passaggio attorno alla cuffia a qualunque tensione a radiofrequenza (amplificata dal tubo). Poichè in un circuito la corrente di placca decresce quando si rende la griglia più negativa, la corrente media di placca del circuito rivelatore a caratteristica di griglia decrescerà quando diviene più grande la tensione del segnale applicato. In questo circuito si avrà il valore massimo della corrente di placca quando non è ricevuto alcun segnale, in quanto

non vi è allora tensione di polarizzazione sviluppata dalla griglia di dispersione. Poichè nel rivelatore a caratteristica di griglia, la rivelazione del segnale avviene effettivamente nel circuito di griglia, questo tipo di rivelatore è pure chiamato *rivelatore di griglia.*

c) Il principale inconveniente del circuito rivelatore a caratteristica di griglia è dato dal fatto che esso facilmente si sovraccarica quando sono in arrivo forti segnali a radiofrequenza, determinando distorsione all'uscita. Quando i rivelatori a caratteristica di griglia sono usati per manipolare forti tensione-segnale a radiofrequenza, essi sono chiamati *rivelatori di potenza* e sono qualche volta usati nei radioricevitori che hanno parecchi stadî di amplificazione a radiofrequenza che precedono lo stadio rivelatore.

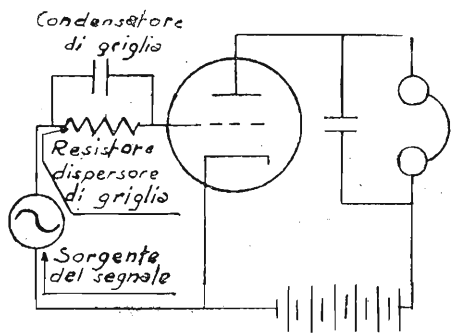


FIG. 86 – Circuito rivelatore a caratteristiche di griglia con dispersione.

53. **Rivelazione di placca.**

a) Quando il circuito rivelatore a triodo è disposto in modo che la rettificazione del segnale a radiofrequenza abbia luogo nel circuito di placca del tubo, si ha il circuito per *rivelazione di placca.* Se una tensione di polarizzazione sufficientemente negativa è applicata alla griglia di un triodo in modo che la corrente di placca sia interdetta in assenza di segnale, viene stabilita la condizione appropriata per la rivelazione di placca. Questa tensione polarizzante d'interdizione può essere fornita sia a mezzo di un resistore catodico che a mezzo di una sorgente fissa di tensione di polariz-

zazione (fig. 87). Se un segnale a radiofrequenza modulato è applicato al circuito di figura 87 fluirà una corrente di placca durante i mezzi cicli positivi della tensione a radiofrequenza, giacchè la tensione positiva annullerà una parte della tensione negativa di polarizzazione, riducendo pertanto la tensione di griglia ad un

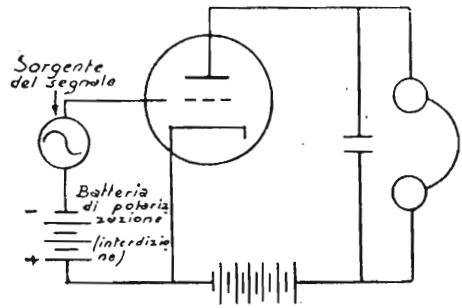


FIG. 87 - Rivelazione di placca.

valore inferiore a quello d'interdizione. La corrente di placca non fluirà durante i mezzi cicli negativi della tensione a radiofrequenza, giacchè la tensione negativa si aggiunge semplicemente alla tensione di polarizzazione, rendendo così la griglia più negativa.

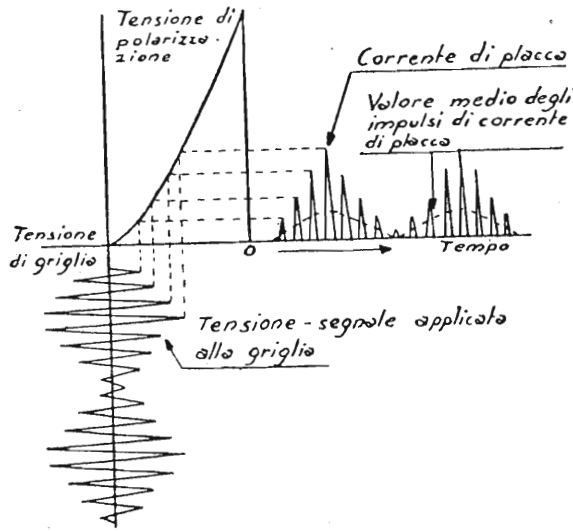


FIG. 88 - Condizioni di funzionamento di un rivelatore di placca.

Pertanto, il tubo agisce come un rivelatore di placca, poichè la corrente di placca fluisce soltanto durante i mezzi cicli positivi della tensione a radiofrequenza.

b) L'azione del rivelatore di placca può essere ulteriormente dimostrata a mezzo della curva $E_G - I_P$ mostrata dalla figura 88. Riportando la forma d'onda della radiofrequenza modulata sulle ascisse (tensione di griglia) si ottiene la forma d'onda della corrente di placca sulle ordinate correnti anodiche. Poichè una tensione di polarizzazione uguale a quella d'interdizione è applicata al rivelatore di placca, non fluirà correntedi placca quando il segnale non è applicato al circuito. Il valore medio della corrente di placca aumenterà con l'aumentare dell'intensità del segnale applicato; questo effetto è opposto a quello presentato dal rivelatore a caratteristica di griglia. In generale, il rivelatore di placca è meno sensitivo del rivelatore a dispersione di griglia, ma esso ha il vantaggio di essere meno facilmente soggetto a sovraccarichi eccessivi.

54. **Rivelazione rigenerativa.**

a) Il procedimento per cui una parte della tensione d'uscita di un circuito con tubo a vuoto viene riportata al circuito d'ingresso, in modo da rinforzare (ossia in fase con) la tensione d'ingresso, prende il nome di *rigenerazione*. L'impiego della rigenerazione in un circuito accresce grandemente l'amplificazione del circuito poichè l'aliquota della tensione d'uscita che alimenta il circuito d'ingresso viene ad aggiungersi alla tensione originale d'ingresso, aumentando cosi la tensione totale che deve essere amplificata dal tubo.

b) La rigenerazione (la cui dizione completa e precisa, è per il caso di cui sopra, *rigenerazione positiva*) può essere applicata ad un circuito rivelatore a caratteristica di griglia, accoppiando magneticamente una bobina inserita nel circuito di placca alla bobina di griglia (fig. 89). Quando un segnale a radiofrequenza è applicato al circuito, si svilupperà una tensione ai capi della

bobina L_3 (fig. 89), per effetto delle variazioni di placca e della reattanza della bobina. Poichè la bobina L_3 è magneticamente accoppiata alla bobina di griglia L_2, viene indotta una tensione in quest'ultima. I sensi degli avvolgimenti delle due bobine sono tali che la tensione indotta da L_3 su L_2 sarà in fase con la tensione-segnale; la tensione rigenerativa si aggiungerà quindi alla tensione a radiofrequenza del segnale in arrivo facendo aumentare la tensione complessiva che deve essere amplificata dal tubo e quindi aumentando in definitiva l'amplificazione del circuito. È importante che sia corretta la posizione della bobina L_3 rispetto alla bobina L_2 perchè altrimenti la tensione rigenerativa risulterebbe fuori fase con la tensione d'ingresso e quindi cancellerebbe

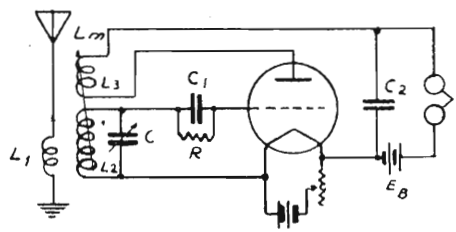


FIG. 89 - Rivelatore rigenerativo.

parte della tensione d'ingresso, riducendo l'amplificazione del circuito. Nel diagramma di figura 89, la bobina d'antenna L_1 e la bobina di griglia L_2 formano un trasformatore a radiofrequenza. Poichè vi sono più spire su L_2 che su L_1, la tensione che appare nel circuito d'antenna sarà elevata da questo trasformatore, producendo così nel circuito un guadagno addizionale. Il secondario del trasformatore, L_2 ed il condensatore variabile C formano il circuito accordato parallelo del complesso. C_2 dà passaggio alle correnti a radiofrequenza del circuito di placca che possono così scavalcare la cuffia e la batteria di placca E_B. Come sovente accade nei complessi per impieghi militari, il filamento è acceso a mezzo di una batteria. Il circuito rivelatore rigenerativo di figura 89 è il circuito rivelatore a triodo più sensitivo possibile e, quando impiegato come un ricevitore, è capace di ricevere in buone condizioni segnali con portate estremamente lunghe.

55. Rivelazione delle onde continue.

Tutti i circuiti rivelatori finora discussi sono impiegati per rivelare segnali *modulati*, poichè essi separano le audiofrequenze dalle radiofrequenze. Tutti questi circuiti rivelatori rettificheranno pure segnali non modulati ad onde continue, ma nessuna tensione ad audiofrequenza apparirà nei loro circuiti d'uscita, poichè non vi è presente componente di tensione ad audiofrequenza in un segnale non modulato. Per poter ricevere i segnali ad onde continue provenienti da un trasmettitore radiotelegrafico, è necessario poter disporre di un qualche metodo atto a produrre nel circuito rivelatore una tensione ad audiofrequenza quando si sta ricevendo un segnale a radiofrequenza non modulata.

56. Rivelatore eterodina.

a) Se due segnali alternativi, di frequenze differenti, sono combinati o mescolati in un circuito, sarà prodotto un terzo segnale chiamato *frequenza di battimento*. La frequenza di questo battimento è uguale alla differenza fra le frequenze che sono state mescolate per produrlo. Così se sono combinate due tensioni ad audiofrequenza, le frequenze delle quali sono rispettivamente 500 e 600 cicli per secondo, sarà prodotta una frequenza di battimento di 100 cicli per secondo.

b) Se sono combinati due segnali a radiofrequenza, le frequenze delle quali differiscono di un audiofrequenza, sarà prodotta una frequenza di battimento di una tensione ad audiofrequenza. Per esempio, se un segnale di mille chilocicli è mescolato con un segnale di 1001 chilocicli, sarà prodotto un battimento con una frequenza di 1 chilociclo (= 100 cicli, ossia un audiofrequenza). Se può essere escogitato qualche modo per generare un segnale in un circuito rivelatore, la frequenza del quale differisca dalla frequenza del segnale in arrivo in un audiofrequenza, allora sarà prodotta nel circuito una tensione ad audiofrequenza. Questo può essere realizzato facendo oscillare il circuito del rive-

latore rigenerativo. Se la rigenerazione positiva è accresciuta oltre un certo punto critico, il circuito oscillerà e produrrà una corrente alternata, la frequenza della quale è uguale alla frequenza di risonanza del suo circuito accordato.

Pertanto, facendo diventare il rivelatore rigenerativo, e quindi oscillante e accordandolo in modo che la frequenza generata differisca dalla frequenza del segnale a radiofrequenza in arrivo di un valore corrispondente ad una frequenza udibile, è possibile rivelare segnali a radiofrequenza non modulata. Questo procedimento prende il nome di *eterodinaggio* ed un rivelatore oscillante è chia-

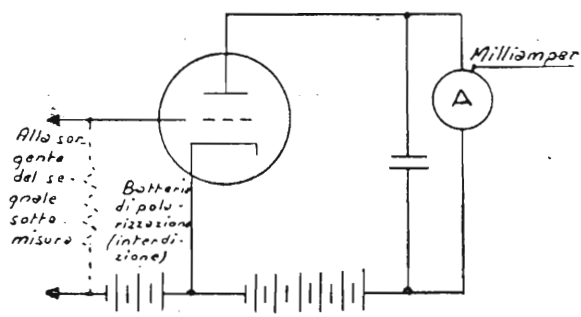


FIG. 90 - Voltmetro con tubo a vuoto.

mato *rivelatore eterodina*. Il principio dell'eterodina è utilizzato nei radioricevitori quando è desiderato eseguire la ricezione delle onde continue. Esso è pure la base del maggior numero dei circuiti oscillatori usati nei trasmettitori e nei ricevitori.

57. Voltmetro con tubo a vuoto.

a) Il circuito rivelatore di placca, discusso nel paragrafo 53, è impiegato per costituire un dispositivo di misura molto importante nella radio: il voltmetro con tubo a vuoto. Lo schema del circuito del voltmetro con tubo a vuoto è mostrato dalla figura 90 e la sua somiglianza con il circuito rivelatore di placca è evidente. Quando non è applicata tensione alla griglia di questo circuito, non fluirà corrente di placca, poichè la griglia è polarizzata alla interdizione. Se è applicata alla griglia una tensione alternativa,

fluirà una corrente di placca, proporzionale alla tensione di punta (valore massimo istantaneo), la quale azionerà il milliamperometro (che sostituisce la cuffia del circuito rivelatore di placca).

Se è applicata una tensione continua, la corrente di placca indicata dal milliamperometro sarà proporzionale alla tensione applicata, purchè il terminale positivo della tensione da misurare sia connesso alla griglia ed il terminale negativo alla batteria di polarizzazione.

b) Calibrando il milliamperometro in modo che da esso si possano leggere tensioni alternate oppure continue, od entrambe, il circuito diviene un effettivo dispositivo di misura di tensioni. Il vantaggio del voltmetro a valvola è che esso assorbe solo una trascurabile corrente dalla sorgente di tensione sotto misura. Questo fatto, in contrasto con i milliamperometri normali, permette al dispositivo di fornire indicazioni molto più precise quando occorra eseguire delle misure critiche.

CAPITOLO VI

AMPLIFICATORI CON TUBI A VUOTO

58. Amplificatori di potenza e di tensione.

a) La maniera fondamentale secondo cui un segnale può essere amplificato a mezzo di un tubo a vuoto (paragr. 37) può essere applicata agli amplificatori con tubi a vuoto che debbono soddisfare i vari speciali requisiti dei trasmettitori e dei ricevitori. L'importanza dei circuiti amplificatori può essere desunta dalla loro larga varietà d'impiego nella radiotecnica.

1) Nei trasmettitori, la potenza a radiofrequenza generata dall'oscillatore è troppo piccola per poter effettuare trasmissioni soddisfacenti a lunga distanza; pertanto sono usati stadî di *amplificatori di potenza* a radiofrequenza per accrescere questa potenza al livello desiderato prima di trasmetterla all'antenna.

2) La tensione di uscita ad audiofrequenza di un microfono è troppo piccola per azionare lo stadio modulatore di un trasmettitore radiotelefonico; pertanto sono usati stadî *amplificatori di tensione* per accrescere l'uscita del microfono fino al valore richiesto per il funzionamento appropriato del modulatore.

3) I circuiti *amplificatori di tensione a radiofrequenza* sono usati nei ricevitori per accrescere l'intensità dei deboli segnali in arrivo, in modo da poter realizzare una rivelazione soddisfacente.

4) Gli stadî amplificatori di tensione ad audiofrequenza sono pure usati nei ricevitori per amplificare l'uscita ad audiofrequenza dello stadio rivelatore (onda) per ottenere un volume di suono più grande nella cuffia.

5) Se in un complesso ricevente è richiesto il funzionamento in altoparlante, l'uscita ad audiofrequenza dello stadio amplificatore sarà un *amplificatore di potenza ad audiofrequenza.*

b) Da questa discussione dei circuiti amplificatori, si può concludere che uno stadio amplificatore con tubi a vuoto, a radiofre-

quenza oppure, ad audiofrequenza, può essere classificato come un amplificatore di tensione o un amplificatore di potenza, a seconda dello scopo per il quale deve essere usato.

c) Gli *amplificatori di tensione* sono stadî amplificatori progettati per produrre un valore elevato della tensione–segnale amplificato ai capi di un carico nel circuito di placca. Per poter produrre il valore più grande possibile della tensione–segnale amplificata attraverso il carico di tale circuito, l'opposizione del carico alle variazioni di corrente di placca (cioè la sua resistenza, reattanza e impedenza) deve essere la più alta praticamente possibile.

d) Gli *amplificatori di potenza* sono amplificatori designati per erogare un grande importo di potenza sul carico del circuito di placca. In un amplificatore di potenza, non soltanto vi deve essere un forte valore di tensione d'uscita ai capi del carico, ma pure vi deve essere abbastanza corrente attraverso il carico, poichè la potenza è eguale al prodotto della tensione per la corrente.

e) Gli amplificatori di tensione e di potenza possono essere identificati dalle caratteristiche dei loro elementi del circuito di placca. Così, uno stadio amplificatore progettato per produrre una forte tensione–segnale amplificata attraverso un'alta impedenza è un amplificatore di tensione, mentre un amplificatore progettato per erogare una relativamente grande corrente di placca attraverso un carico di impedenza più bassa è un amplificatore di potenza. Benchè qualunque tubo a vuoto possa essere fatto operare come un amplificatore di tensione o di potenza, sono stati sviluppati certi tubi che si adattano meglio come amplificatori di tensione, mentre altri sono stati progettati per essere usati come amplificatori di potenza. Si hanno pertanto tubi denominati tubi amplificatori di tensione e tubi amplificatori di potenza.

f) In aggiunta ai due tipi di amplificatori ora discussi, è stata stabilita un'ulteriore classificazione sia per gli amplificatori di tensione che di potenza. Il funzionamento di tutti gli amplificatori con tubi a vuoto può essere classificato in base alla tensione di

polarizzazione applicata alle loro griglie e in base alla porzione di ciclo della tensione alternativa–segnale *durante la quale fluisce la corrente di placca.* Questi tipi di amplificazione sono chiamati classe A, classe AB, classe B e classe C.

59. Amplificatori in classe A.

a) Se la griglia di un tubo amplificatore è polarizzata in modo che la corrente di placca fluirà durante l'intero ciclo della tensione alternativa–segnale applicata, il circuito è chiamato *amplificatore*

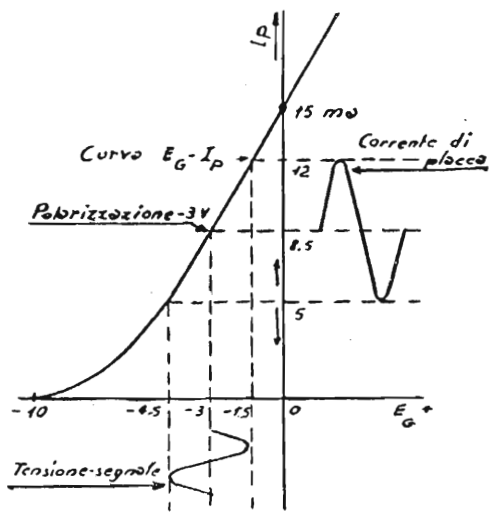


FIG. 91 – Funzionamento in classe A.

in classe A. L'operazione in classe A di un tubo è illustrata graficamente dalla curva tensione di griglia–corrente di placca di figura 91. L'esame di questo grafico mostra che la corrente di placca fluisce sia durante i mezzi cicli positivi che durante i mezzi cicli negativi della tensione alternativa del segnale applicata alla griglia. Da notare che la curva $E_G - I_P$ di figura 91 non è lineare sopra l'intera lunghezza, cioè, essa non è una linea retta. Affinchè si possa produrre una forma d'onda di corrente di placca che, per quanto possibile, sia una riproduzione esatta della forma d'onda

della tensione-segnale, il tubo deve essere polarizzato in modo da farlo lavorare nella porzione della caratteristica $E_G - I_P$ (figura 91) che sia un tratto di linea retta.

b) Se la griglia del tubo è polarizzata non correttamente, per cui la tensione di griglia varia sopra una porzione non lineare della curva caratteristica, risulterà una forma d'onda distorta della corrente di placca (fig. 92). Poichè le variazioni di corrente

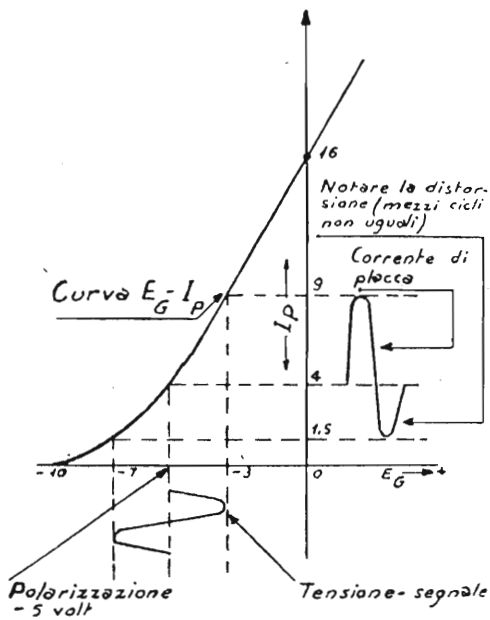


FIG. 92 - Distorsione in un amplificatore in classe *A* dovuta a polarizzazione non appropriata.

di placca che fluiscono attraverso il carico producono la tensione d'uscita nel circuito dell'amplificatore, una forma d'onda distorta della corrente di placca produrrà una tensione d'uscita distorta. È pertanto importante che la tensione di polarizzazione sia mantenuta al giusto valore negli stadî amplificatori in classe *A*, al fine di evitare la distorsione.

c) La distorsione avverrà pure in un amplificatore in classe *A* se è applicata alla griglia del tubo una tensione alternativa segnale

troppo grande e la tensione totale di griglia (tensione di polarizzazione più o meno la tensione segnale) varierà su porzioni lineari e non lineari della curva $E_G - I_P$ (fig. 93).

d) La massima potenza di uscita che può essere ottenuta da un qualunque stadio amplificatore dipenderà dall'efficienza del circuito e dall'ammissibile dissipazione di placca a cui può essere

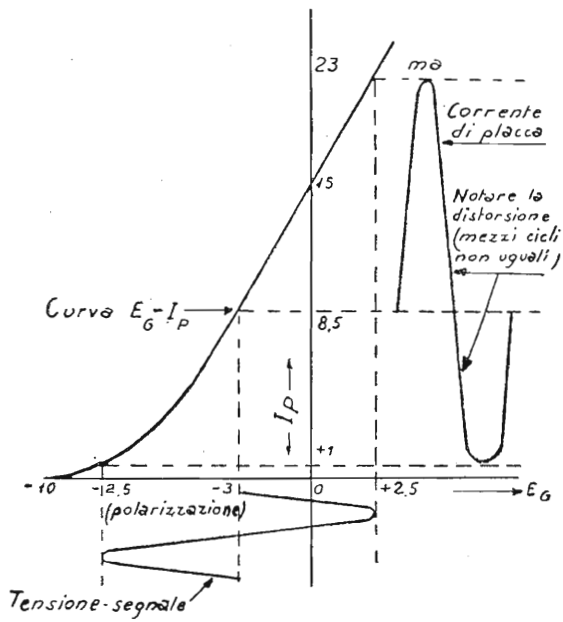


FIG. 93 – Distorsione in un amplificatore in classe *A* dovuta ad eccessiva tensione-segnale.

assoggettato il particolare tubo impiegato. Il rendimento di uno stadio amplificatore è il rapporto della potenza di uscita (la potenza alla frequenza del segnale disponibile sul carico) alla potenza d'ingresso di placca (tensione continua di placca moltiplicata per la componente continua della corrente di placca) espresso in per cento. Per esempio, se la potenza d'ingresso di placca in uno stadio amplificatore è 40 watt e la potenza d'uscita dello stadio è 10 watt, l'efficienza, o rendimento, dello stadio amplificatore è del 25 per cento. La dissipazione di placca o la potenza consumata dal cir-

cuito di placca di uno stadio amplificatore è la differenza fra la potenza d'ingresso e la potenza d'uscita. Così, nell'esempio sopraddetto, la dissipazione di placca, sarebbe la differenza fra 40 e 10 watt; ossia 30 watt. Ciascun tipo di tubo è caratterizzato, fra l'altro, da un dato del listino di fabbrica che dà la massima dissipazione di placca a cui può essere assoggettato con sicurezza il tubo. Il rendimento di uno stadio amplificatore in classe *A* è compreso generalmente fra il 20 e il 25 per cento.

e) Praticamente, tutti gli stadî amplificatori dei radioricevitori, sia a radio che ad audiofrequenza, operano in classe *A*. Inoltre, gli stadî amplificatori della parola dei trasmettitori radiotelefonici (stadî audio impiegati per amplificare l'uscita ad audiofrequenza del microfono fino a raggiungere il livello del segnale d'ingresso appropriato per il modulatore) sono in classe *A*.

60. **Amplificazione in classe *B*.**

a) Se la griglia di un tubo amplificatore è polarizzata all'interdizione, per cui la corrente di placca fluirà soltanto durante i mezzi cicli positivi della tensione alternativa–segnale applicata, il circuito è chiamato *amplificatore in classe B*. La curva $E_G - I_P$ di figura 94 dimostra la relazione fra tensione di griglia e corrente di placca in un tubo che funziona in classe *B*. Si può vedere dalla figura 94 che la corrente di placca fluisce soltanto durante i semicicli positivi della tensione alternativa–segnale applicata alla griglia, e, conseguentemente la forma d'onda della corrente di placca non riproduce la forma d'onda della tensione–segnale.

b) La tensione–segnale applicata alla griglia di un amplificatore in classe *B* è usualmente molto più grande, in valore, della tensione applicata alla griglia di uno stadio di classe *A*.

In effetti, la tensione–segnale applicata può essere così grande che, durante la parte dei mezzi cicli positivi, la griglia sia effettivamente fatta operare con una tensione positiva rispetto al catodo (fig. 94). Poichè la griglia, durante le punte positive della tensione–segnale applicata, è positiva rispetto al catodo, parte degli

elettroni saranno attratti dalla griglia e quindi fluirà corrente di griglia.

c) Per eliminare la forte distorsione presente all'uscita di un tubo singolo, o a terminazione singola, dello stadio amplificatore in classe *B*, due tubi possono essere così disposti da costituire un circuito amplificatore in « push–pull » (*vedere* fig. 95). Un tubo opererà durante il primo mezzo ciclo della tensione alternativa–

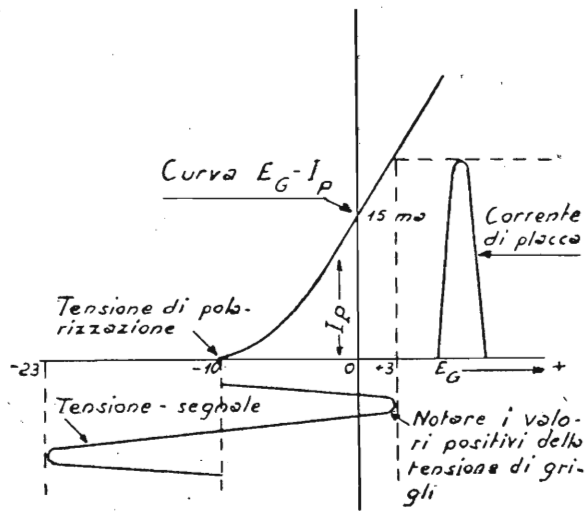


FIG. 94 - Funzionamento in classe *B*.

segnale, e l'altro tubo opererà durante il secondo mezzo ciclo. L'azione del circuito di griglia un « push–pull » di figura 95 è simile a quella del circuito rettificatore ad onda completa. Poichè la corrente di placca fluisce in un tubo soltanto durante un mezzo ciclo e nell'altro tubo durante il successivo mezzo ciclo, le forme d'onda della corrente di placca dei due tubi possono essere combinate nel circuito di carico. Il circuito di carico di figura 95 è il primario a presa centrale di un trasformatore d'uscita a push–pull. Poichè le correnti di placca di questi due tubi fluiscono in direzioni opposte attraverso le loro rispettive metà dell'avvolgimento del trasformatore, un tubo genererà una tensione attraverso il

primario del trasformatore durante un mezzo ciclo. Durante il successivo mezzo ciclo, l'altro tubo genererà una tensione di polarità opposta attraverso l'avvolgimento.

La figura 96 mostra la tensione sviluppata attraverso l'avvolgimento primario del trasformatore di ciascun tubo e la tensione

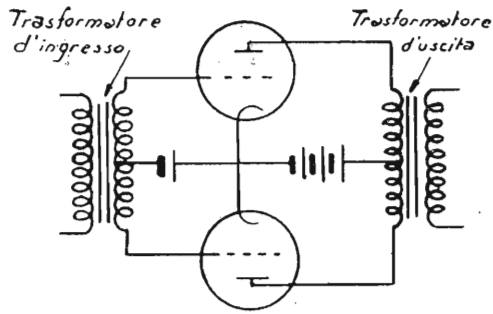


FIG. 95 - Circuito amplificatore in push-pull.

risultante attraverso il secondario del trasformatore, dovuta alla combinazione delle tensioni durante il ciclo completo della tensione-segnale. Così, usando due tubi in « push-pull » è possibile ottenere una tensione d'uscita ragionevolmente non distorta da un amplificatore in classe *B*.

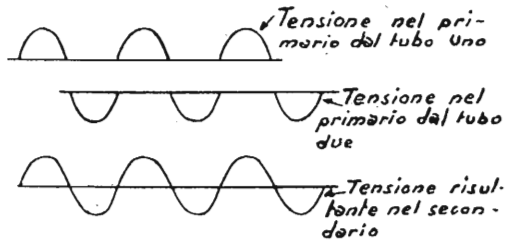


FIG. 96 - Uscita di un amplificatore in push-pull in classe *B*.

d) Gli amplificatori in classe *B* hanno un'efficienza che varia dal 50 al 60 per cento, il che significa un valore ridotto di dissipazione di placca, ed un'accresciuta potenza d'uscita per una data potenza d'ingresso. Essi sono generalmente usati dove è desiderato

di sviluppare una potenza di uscita relativamente grande nel circuito di carico.

Gli amplificatori in classe *B* a tubo singolo non sono mai usati per amplificazione ad audiofrequenza, dato che l'uscita di un tubo singolo è distorta. Invece i « push–pull » in classe *B*, costituiscono i circuiti amplificatori ad audiofrequenza largamente usati negli stadî modulatori dei trasmettitori radiotelefonici. Essi sono pure occasionalmente usati negli stadî di potenza di uscita dei radioricevitori.

e) Benchè l'amplificatore in classe *B* a tubo singolo non sia mai usato nei circuiti amplificatori ad audiofrequenza, esso può essere usato con successo negli stadî amplificatori a radiofrequenza aventi un circuito parallelo accordato come carico di placca. Il circuito accordato parallelo è chiamato qualche volta circuito serbatoio, data la sua attitudine ad immagazzinare potenza. Quando esso è usato come carico di placca di uno stadio amplificatore in classe *B* a terminazione singola, il condensatore nel circuito parallelo accordato sarà caricato dalla tensione d'uscita prodotta dal flusso della corrente di placca attraverso il carico di mezzi cicli positivi. Benchè non fluisca corrente attraverso il tubo nei mezzi cicli negativi della tensione–segnale applicata, il condensatore si scaricherà sull'induttore durante questo periodo e così alimenterà il mezzo ciclo mancante nella tensione d'uscita. Questo cosi chiamato effetto volano del circuito serbatoio, si verificherà soltanto quando la frequenza risonante del circuito accordato parallelo è uguale alla frequenza della tensione–segnale applicata. L'amplificatore in classe *B* a radiofrequenza, sia a terminazione singola che a « push–pull », è usato negli stadî a radiofrequenza dei radiotrasmettitori.

61. **Amplificazione in classe** *AB*.

a) È possibile un compromesso fra la *fedeltà* (bassa distorsione) di un'amplificazione in classe *A* e la relativa alta efficienza del funzionamento in classe *B*, polarizzando il circuito amplificatore

in modo da operare secondo una via intermedia fra la classe A e la classe B. Questo tipo di funzionamento è detto in classe AB.

b) Nel polarizzare un tubo in modo intermedio a quello delle classi A e B, il tubo non opererà lungo l'intera porzione lineare della sua curva $E_G - I_P$ e pertanto sarà presente nell'uscita qualche distorsione. Per questa ragione i circuiti amplificatori in push-pull sono generalmente usati come amplificatori ad audiofrequenza, in classe AB. Poichè l'amplificazione in classe AB è meno efficiente sia dell'amplificazione in classe B che di quella in classe C, essa è raramente usata nei circuiti amplificatori a radiofrequenza.

c) Se la tensione alternativa-segnale applicata ad un amplificatore in classe AB è mantenuta sotto il punto in corrispondenza del quale si ha la corrente di griglia, l'operazione risultante è chiamata *amplificazione in classe* AB_1. Se invece la tensione-segnale applicata è abbastanza grande da provocare un flusso di corrente di griglia durante le punte positive del ciclo della tensione-segnale, il funzionamento risultante è chiamato *amplificazione in classe* AB_2.

62. Amplificazione in classe *C*.

a) Se la polarizzazione applicata alla griglia di uno stadio amplificatore è apprezzabilmente più grande del valore d'interdizione, l'amplificazione è chiamata in classe C. Il funzionamento di un tale tubo è mostrato dalla curva $E_G - I_P$ di figura 97. Da notare che in questo caso la tensione polarizzante è — 20 volt, ossia doppia del valore d'interdizione; l'uso di una polarizzazione doppia di quella d'interdizione è di pratica comune in molti amplificatori in classe C. La curva mostra che la corrente di placca fluirà soltanto durante quella porzione del mezzo ciclo positivo della tensione alternativa-segnale applicata che è numericamente più grande della tensione d'interdizione del tubo; cioè la corrente di placca fluisce soltanto durante le punte positive della tensione-segnale applicata. La curva mostra pure che la tensione alternativa -segnale applicata deve eccedere di molto la tensione d'interdizione

affinchè si possa produrre un forte valore di flusso di corrente di placca.

b) Quasi tutti i circuiti degli amplificatori a radiofrequenza usati nei trasmettitori radio operano in classe *C*. I circuiti paralleli accordati impiegati come carichi di placca per gli amplificatori in classe *C* forniscono lo stesso effetto volano come per gli amplificatori di classe *B*. Il vantaggio del funzionamento in classe *C* è che esso ha un'alta efficienza; rendimenti così elevati come il 75

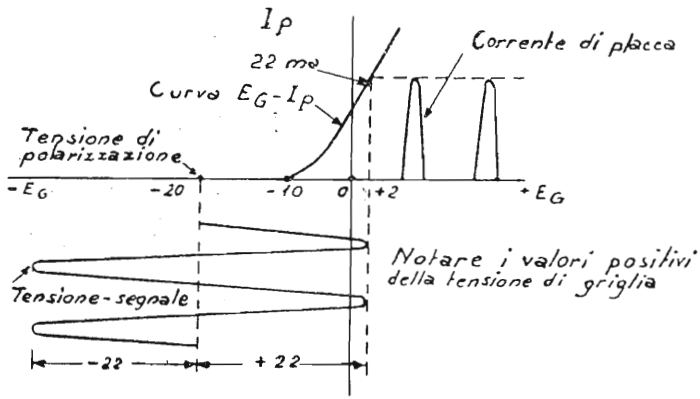


FIG. 97 – Funzionamento in classe *C*.

per cento sono possibili negli amplificatori a radiofrequenza in classe *C*. L'operazione in classe *C* non è mai usata negli amplificatori ad audiofrequenza, dato l'alto grado di distorsione di questi circuiti.

63. Accoppiamento fra gli stadî.

a) Uno qualunque dei metodi di accoppiamento descritti nei paragrafi dal 27 al 30, può essere usato per accoppiare il circuito di uscita di uno stadio amplificatore al circuito d'ingresso dello stadio successivo. Tre tipi di accoppiamento fra gli stadî sono mostrati nel circuito di figura 98. In questo circuito, gli elementi Z_1 sono i carichi di placca per i rispettivi tubi, la polarizzazione catodica (R_c) è usata per tutti e quattro i tubi, e la tensione–alterna-

tiva–segnale d'ingresso è indicata da E_G. Tutte e tre queste forme di accoppiamento fra gli stadî sono largamente usate nei circuiti ad audiofrequenza sia dei trasmettitori che dei ricevitori. La forma più comune di accoppiamento trovata nei circuiti amplificatori a radiofrequenza dei ricevitori è l'accoppiamento a trasformatore, mentre nei circuiti a radiofrequenza dei trasmettitori sono largamente usati sia l'accoppiamento ad impedenza che quello a trasformatore.

b) Il primo stadio del circuito di figura 98 è accoppiato a resistenza al secondo stadio, giacchè la tensione–segnale amplificata è sviluppata ai capi di un resistore nel circuito di placca. Questa

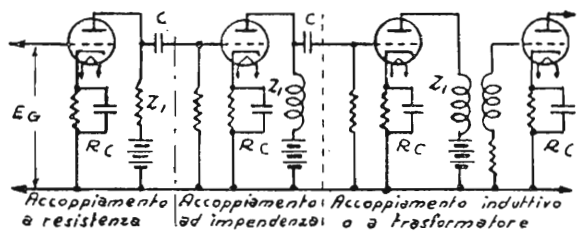


FIG. 98 - Tre tipi di accoppiamento fra gli stadî.

tensione–segnale è applicata alla griglia del secondo stadio, attraverso il condensatore di blocco (qualche volta chiamato condensatore d'accoppiamento) indicato con C nel disegno. Il resistore nel circuito di griglia del secondo stadio fornisce un cammino per la polarizzazione applicata alla griglia. Poichè il condensatore di blocco gioca una parte importante nel funzionamento di questo circuito, questo tipo di accoppiamento è qualche volta chiamato *accoppiamento a resistenza e capacità*. Poichè il condensatore di blocco fa passare le correnti alternative, esso applica la tensione–segnale amplificata sviluppata ai capi del resistore Z_1 al circuito di griglia dello stadio successivo. Nello stesso tempo esso blocca il flusso di corrente continua dal circuito di placca del primo stadio al circuito di griglia del secondo stadio. Se questo condensatore si perforasse o avesse delle dispersioni, parte, o tutta, della tensione continua applicata alla placca del primo stadio apparirebbe

sulla griglia del secondo, cancellando una parte, o tutta, la tensione di polarizzazione negativa applicata a questo tubo, causando così distorsione nella sua uscita. Un condensatore di blocco che presenta delle dispersioni, può pertanto essere una sorgente di distorsione in un circuito amplificatore.

c) L'accoppiamento fra il circuito di placca del secondo tubo ed il circuito di griglia del terzo tubo (fig. 98) è simile nel funzionamento all'accoppiamento fra il primo ed il secondo tubo, ad eccezione che un induttore avente un altro valore di reattanza alla frequenza del segnale è usato come carico di placca. La funzione del condensatore di blocco è la stessa sia per l'accoppiamento a resistenza che per quello ad impedenza o induttanza.

d) Un trasformatore è usato per accoppiare l'uscita del terzo tubo all'ingresso del quarto tubo nel circuito di figura 98. Il primario di questo trasformatore è il carico di placca per il terzo tubo, mentre la tensione–segnale applicata alla griglia del quarto tubo è sviluppata attraverso il secondario di questo trasformatore. Se il trasformatore ha più spire nel secondario di quelle che ha nel primario, la tensione–segnale applicata alla griglia del quarto tubo sarà proporzionalmente più grande della tensione–segnale sviluppata attraverso il suo primario. Così è ottenuta un'amplificazione di tensione a mezzo dell'impiego del trasformatore di accoppiamento nei circuiti degli amplificatori.

e) In generale, la sola differenza fra i metodi di accoppiamento usati nei circuiti degli amplificatori ad audiofrequenza e quelli usati nei circuiti degli amplificatori a radiofrequenza è data dall'impiego dei circuiti accordati. Il circuito di figura 99 mostra un circuito amplificatore a radiofrequenza accoppiato con impedenza accordata; i carichi di placca per i due tubi sono i circuiti parallelo accordati formati da L_1 e C_1 e da L_2 e C_2 rispettivamente. Un circuito amplificatore a radiofrequenza (a due stadî) con trasformatore d'accoppiamento ad accordo singolo è mostrato nella figura 100; questo circuito è tipico di quelli trovati nel maggior numero di radioricevitori. La figura 101 mostra l'impiego del trasformatore a doppio accordo di accoppiamento fra due stadî

di amplificazione e radiofrequenza. Questo circuito ha il vantaggio di fornire un'alta selettività ed un alto guadagno (amplificazione) alla frequenza per il quale esso è accordato. Da notare che nei circuiti delle figure 99, 100 e 101, sono state usate batterie comuni a due stadî per fornire sia la polarizzazione negativa di griglia che la tensione di placca positiva per i tubi.

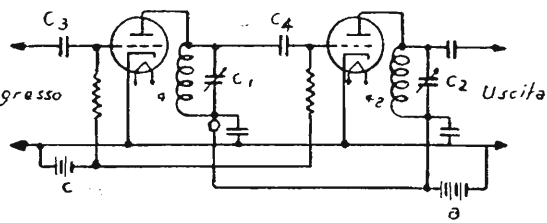


FIG. 99 - Circuito amplificatore a radiofrequenza con accoppiamento ad impedenza accordata.

f) Una delle principali considerazioni relativa al trasformatore d'accoppiamento degli amplificatori di potenza ad audiofrequenza è quella che dovrebbe verificarsi piccolissima distorsione o mancare del tutto. L'impiego di un circuito in « push–pull » riduce

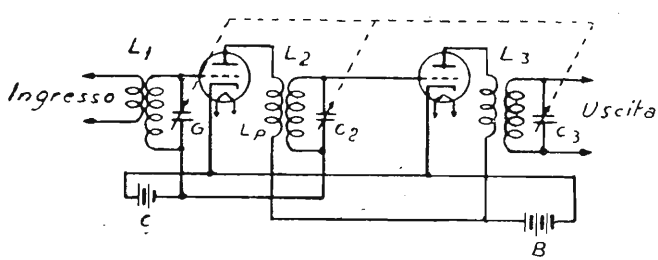


FIG. 100 - Circuito amplificatore a radiofrequenza con accoppiamento a trasformatore accordato.

grandemente la distorsione nei circuiti degli amplificatori ad audiofrequenza. Per questa ragione, il « push–pull » è largamente usato nei circuiti degli amplificatori di potenza ad audiofrequenza dei trasmettitori e ricevitori radio. Negli amplificatori in classe *A*, l'impiego del circuito in « push–pull » permette l'applicazione di una tensione–segnale per tubo considerevolmente più alta, per un dato

importo di distorsione nell'uscita, di quella che sarebbe possibile negli amplificatori a terminazione singola. L'impiego dei circuiti in « push–pull » è richiesto nelle classi AB e B degli amplificatori ad audiofrequenza per avere bassa distorsione nella tensione d'uscita.

Un trasformatore a presa centrale è il mezzo più conveniente per fornire da un unico stadio due tensioni, eguali in ampiezza ma di fase opposta, alle due griglie di un circuito amplificatore a « push–pull ». L'accoppiamento a trasformatore è pertanto più largamente usato in qualunque altro metodo per questo scopo.

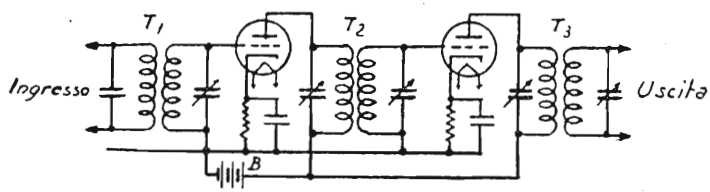


Fig. 101 – Circuito amplificatore a radiofrequenza con accoppiamento a trasformatore ad accordo doppio.

g) Nei circuiti degli amplificatori in classe AB_2 e in classe B vi è un altro e più importante requisito per il quale necessita l'uso di un trasformatore d'accoppiamento. Il maggior numero dei tubi intesi per essere impiegati come amplificatori di potenza sono così progettati che le loro griglie possono essere fatte funzionare ad una tensione positiva nel circuito amplificatore in « push–pull » senza provocare distorsione.

Se una tensione positiva è applicata alla griglia di un tubo; esso assorbirà un certo importo di corrente di griglia, poichè degli elettroni saranno attirati dalla griglia. Se il circuito di griglia di un tubo che assorbe corrente contiene un forte valore di resistenza, la corrente di griglia attraversando questa resistenza produrrà una tensione di polarizzazione, per effetto dell'azione di dispersione di griglia della resistenza. Poichè questa tensione sarebbe applicata alla griglia in aggiunta a qualunque valore di polarizzazione che è applicato nel circuito, essa varierebbe le caratteristiche di funzionamento del circuito, ridurrebbe la potenza d'uscita e causerebbe distorsione. I circuiti degli amplificatori sia della classe

AB_2 che della classe B sono usualmente fatti funzionare in modo che essi assorbano corrente di griglia quando sono applicate delle forti tensioni–segnale. La resistenza del circuito di griglia di tali amplificatori, deve essere pertanto mantenuta piccola onde poter impedire lo sviluppo di indesiderabili tensioni di polarizzazione aggiuntive. La bassa resistenza presentata dagli avvolgimenti di un trasformatore soddisfa a questi requisiti. Conseguentemente il trasformatore d'accoppiamento è sempre usato per i circuiti amplificatori di potenza ad audiofrequenza operanti nelle classi AB_2 e B.

h) Se le griglie di uno stadio amplificatore assorbono corrente, esse richiedono un certo importo di potenza dalla sorgente del segnale. Per potere ottenere il massimo trasferimento di potenza del circuito di placca del precedente stadio, usualmente chiamato lo stadio eccitatore, l'impedenza di uscita di questo stadio deve essere adattata all'impedenza d'ingresso del circuito amplificatore in « push–pull ». Questo requisito, in questo tipo di amplificatore ad audiofrequenza è soddisfatto in modo più conveniente ed efficiente a mezzo di un trasformatore d'accoppiamento.

64. **Controllo del guadagno negli amplificatori a radiofrequenza.**

a) È stato mostrato in precedenza [par. 37–*e*)] che il guadagno, o amplificazione, di un triodo può essere controllato convenientemente variando la tensione di polarizzazione applicata alla sua griglia. Questo metodo di controllo del guadagno è usato più frequentemente di qualunque altro metodo nei circuiti degli amplificatori a radiofrequenza.

b) Per un *controllo manuale* del guadagno di un amplificatore a radiofrequenza, la resistenza della polarizzazione catodica è spesso costituita da un resistore fisso e da un resistore variabile connessi in serie. Il resistore fisso è del valore corretto per fornire la polarizzazione del tubo per la sua amplificazione massima. Il resistore variabile può essere posto ad un valore che va da zero a quel valore di resistenza richiesta per la tensione di interdizione.

Questo sistema fornisce un metodo conveniente per aggiustare il guadagno del circuito a qualunque desiderato valore.

c) Per *un controllo automatico di volume*, la tensione negativa di polarizzazione di griglia aggiuntiva può essere fornita agli stadî degli amplificatori a radiofrequenza di un ricevitore dal resistore di carico del diodo nel circuito del rivelatore. La tensione negativa sviluppata ai capi del resistore, sarà proporzionale alla tensione–segnale applicata al rivelatore dell'amplificatore a radiofrequenza. La polarizzazione di griglia aggiuntiva applicata ai tubi dell'amplificatore a radiofrequenza tenderà così a mantenere ad un valore costante il livello del segnale applicato al rivelatore e, conseguentemente, si avrà la stessa costanza nell'uscita del rivelatore. I circuiti e l'applicazione del controllo automatico di volume saranno discussi in dettaglio nei capitoli relativi ai radioricevitori.

65. Controllo di guadagno degli amplificatori ad audiofrequenza.

a) Il metodo più popolare di controllo di volume per i circuiti ad audiofrequenza, consiste nell'impiego di un potenziometro, come resistore di griglia di un amplificatore con tubo a vuoto (fig. 102). Poichè la tensione–segnale è applicata attraverso questo resistore variabile, la posizione della presa variabile sul resistore determinerà il valore della tensione–segnale applicata alla griglia e, conseguentemente, l'uscita dell'amplificatore.

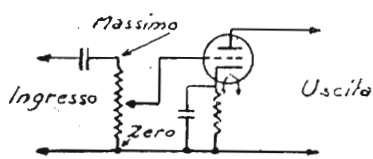


FIG. 102 - Circuito semplice per il controllo di volume.

b) Il controllo automatico di volume è raramente applicato ai circuiti dell'amplificatore ad audiofrequenza, poichè è generalmente più conveniente eseguire il controllo del guadagno di un radioricevitore nei circuiti dell'amplificatore a radiofrequenza che precedono il rivelatore.

66. Distorsione.

a) La distorsione di un amplificatore può essere classificata grosso modo in tre varietà: distorsione di frequenza, distorsione non lineare e distorsione di fase (o ritardo). La distorsione di frequenza ha origine per effetto della non abilità dell'amplificatore ad amplificare ugualmente tutte le frequenze. La distorsione non lineare è una conseguenza del funzionamento sopra una porzione curva (non lineare) della caratteristica dei tubi, per cui sono introdotte delle armoniche o frequenze multiple. La distorsione di fase risulta dagli effetti della trasmissione di frequenze differenti a velocità differenti, dando così nell'uscita uno spostamento di fase relativo lungo lo spettro di frequenza. Ad eccezione che nelle ultra alte frequenze o nelle linee di trasmissione, gli effetti della distorsione di ritardo sono usualmente insignificanti. La distorsione di frequenza negli amplificatori a radiofrequenza dei trasmettitori è ordinariamente di piccola importanza, poichè questi amplificatori operano soltanto su una gamma di frequenze relativamente stretta.

b) Negli amplificatori a radiofrequenza dei ricevitori sono impiegati vari dispositivi di compensazione per ottenere un responso uniforme ad una banda di frequenze. La figura 103 illustra una di tali disposizioni di compensazione. Un avvolgimento primario di alta induttanza P, lascamente accoppiato al secondario S risuona (per effetto della autocapacità) ad una frequenza più bassa della più bassa frequenza per il quale l'amplificatore deve funzionare. Questo fatto permette un alto guadagno all'estremità bassa della banda di frequenze, per effetto dell'alta impedenza del carico di placca alle frequenze più basse. La piccola capacità C_1 dovuta alla spira di filo agganciata attorno alla sommità del secondario, provvede ad aumentare l'accoppiamento alle più alte frequenze migliorando così il responso all'estremità superiore della banda.

c) La distorsione che si genera quando un tubo a vuoto funziona sopra una porzione non lineare della sua caratteristica, con-

siste principalmente in frequenze multiple (armoniche) e frequenze somma e differenza corrispondenti a ciascuna frequenza presente nel segnale originale. Supponiamo, per esempio, che il segnale di ingresso di un amplificatore a radiofrequenza non lineare sia composto di tre frequenze: 500.000; 501.000 e 501.025 cicli. L'uscita contiene allora, in aggiunta alle tre frequenze originali, le seguenti frequenze di distorsione:

1) Armoniche: 1.000.000; 1.500.000
1.002.000; 1.503.000
1.002.050; 1.503.075

2) Frequenze somma: 1.001.000; 1.001.025; 1.002.025

3) Frequenze differenza: 1.000; 1.025; 25.

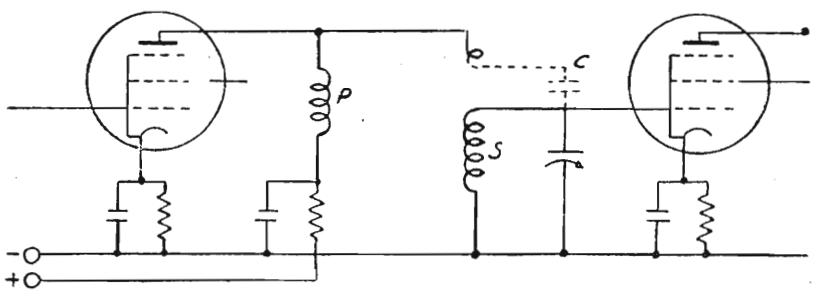


FIG. 103 - Disposizione speciale del circuito in un amplificatore a radiofrequenza per ottenere una risposta uniforme sopra una banda di frequenza.

d) L'azione filtrante di un circuito risonante parallelo in un circuito di placca di un amplificatore, che è accordato 500.000 cicli minimizza gli effetti di tutte queste componenti di distorsione. Il grado di questa soppressione delle frequenze componenti di distorsione può essere controllato a mezzo di un'appropriata progettazione del circuito accordato. A frequenze molto lontane dalla frequenza di risonanza, il circuito parallelo offre essenzialmente l'impedenza della branca di più bassa impedenza. In un circuito accordato a 500.000 cicli, l'impedenza offerta alla corrente di 1.000.000 di cicli è praticamente quella della sola capacità e l'impedenza offerta alle correnti di 1.000 cicli è praticamente quella della sola induttanza. Così, un basso rapporto da L a C

minimizza le tensioni sviluppate ai capi del circuito parallelo alle frequenze di distorsione. L'accoppiamento con cappio intermediario d'accoppiamento (fig. 104) è usato qualche volta per trasferire l'energia fra due circuiti accordati. Questo elimina accoppiamenti occasionali fra i due circuiti, dovuti alla capacità distribuita delle spire ed elimina pure il trasferimento di armoniche da un circuito all'altro.

e) In un amplificatore ad audiofrequenza le frequenze di distorsione coprono generalmente le frequenze del segnale desiderate, cosicchè non è possibile il filtraggio. Negli amplificatori ad audiofrequenza, occorre prevenire più che curare. Il funzionamento in classe *A* è una soluzione. Le disposizioni in «push–pull» sono di ulteriore assistenza.

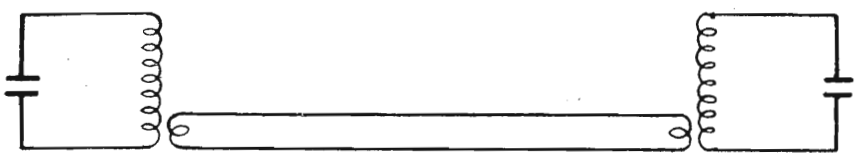


Fig. 104 - Circuiti accordati accoppiati ad anello.

f) Delle frequenze armoniche, la seconda è usualmente quella predominante. Le rimanenti sono ordinariamente deboli. E dannosa la seconda armonica (come pure le altre armoniche di ordine pari) che è assente nell'uscita di un amplificatore a « push–pull ». Che questo sia vero, può essere visto considerando le curve di figura 105. Qui (1) rappresenta una frequenza segnale fondamentale (prima armonica); (2) e (3) sono curve di frequenza multipla, rispettivamente seconda e terza armonica del segnale. La curva spessa di (4) è ottenuta addizionando la fondamentale (1) e la seconda armonica (2). La curva spessa di (5) è ottenuta addizionando la fondamentale (1) e la terza armonica (3). La fondamentale, la seconda armonica e la terza armonica sono composte per dare la curva spessa di (6). La risultante in (5) è tale che se il mezzo ciclo negativo della curva è spostato lungo l'ascissa (asse orizzontale), così da porsi direttamente sotto il mezzo ciclo positivo,

allora il mezzo ciclo negativo rappresenta l'immagine speculare del mezzo ciclo positivo rispetto all'ascissa. Può essere mostrato che qualunque combinazione di armoniche di ordine dispari possiede questa stessa simmetria; per di più, qualunque onda risultante formata da una combinazione di armoniche e possedente questa simmetria, non può contenere armoniche di ordine pari. Nel funzionamento in « push–pull », i due tubi scambiano i loro ruoli durante le semialternanze cosicchè se la curva a tratti di figura 106

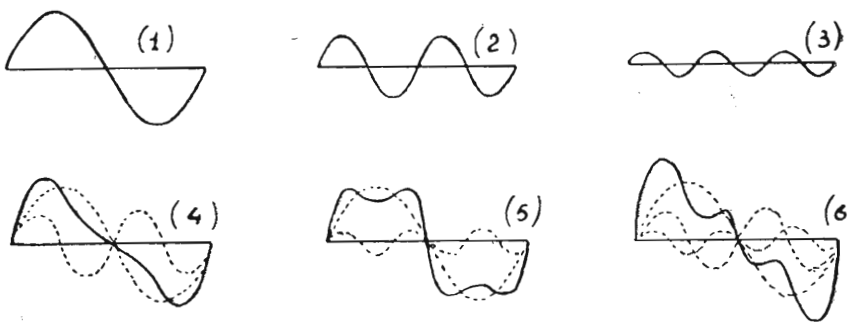


FIG. 105 - Analisi della distorsione armonica. — (1) Fondamentale. — (2) Seconda armonica. — (3) Terza armonica. — (4) Fondamentale più seconda armonica. — (5) Fondamentale più terza armonica. — (6) Fondamentale più seconda e terza armonica.

rappresenta l'uscita di un tubo, la curva a punti della stessa figura rappresenta l'uscita del tubo gemello. La dissimetria nella forma d'onda d'uscita di ciascun singolo tubo indica un definito contenuto di armoniche pari, laddove la simmetria della forma d'onda combinata mostra la completa assenza di qualunque armonica di ordine pari.

g) Il funzionamento in « push–pull » serve a diminuire la distorsione anche in altri modi:

1) Le correnti continue presenti nelle due metà del primario del trasformatore d'uscita, si bilanciano l'una con l'altra nei loro effetti magnetici, cosicchè il nucleo non può essere saturato con corrente continua (la saturazione è uno stato di magnetizzazione del nucleo dovuto a correnti ragionevolmente intense, per

cui un ulteriore aumento nella corrente produce soltanto un piccolo aumento nell'induzione magnetica).

2) Le componenti alternative del potenziale di alimentazione di placca, che sono dovute al filtraggio incompleto, non producono effetto nell'uscita del secondario del trasformatore, poichè i potenziali così sviluppati attraverso il primario si bilanciano l'un con l'altro. Data la difficoltà di ottenere un perfetto bilanciamento,

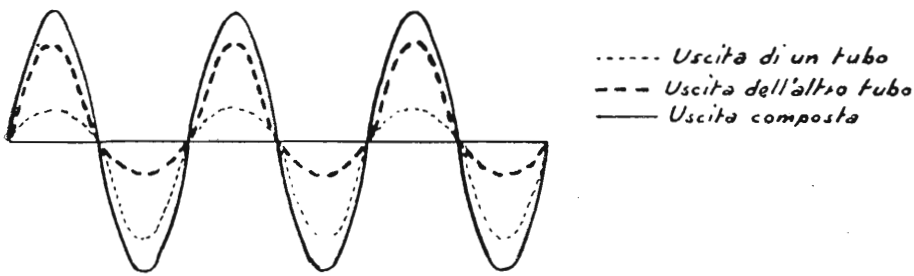


FIG. 106 - Forme d'onda in un amplificatore a push-pull.

particolarmente nei tubi, le possibilità complete degli amplificatori in « push-pull » sono raramente realizzate in pratica. Tuttavia, in condizioni di bilanciamento moderatamente buone, l'amplificatore in « push-pull » offre un definito miglioramento in qualità rispetto al corrispondente amplificatore a terminazione singola.

h) In un trasmettitore, per raddoppiare la frequenza, alle radiofrequenze, è deliberatamente favorita la distorsione armonica in un amplificatore a terminazione singola operante su un circuito *LC* accordato appropriatamente.

CAPITOLO VII

RICEVITORI A CIRCUITI ACCORDATI

67. Principio del ricevitore a circuiti accordati.

Il ricevitore a circuiti accordati consiste in uno o più stadî di amplificazione e radiofrequenza, uno stadio rivelatore ed uno o più stadî di amplificazione ad audiofrequenza. Un diagramma a blocchi di un ricevitore tipico a circuiti accordati è mostrato dalla figura 107. Le onde di energia radio provenienti da un trasmetti-

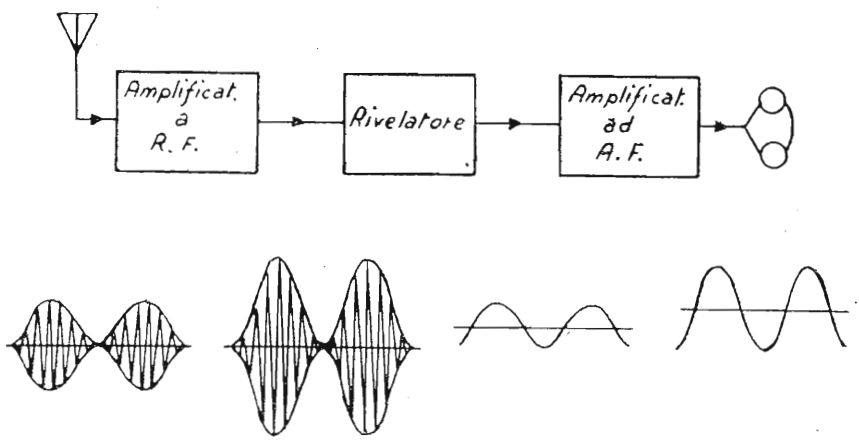


FIG. 107 - Diagramma a blocchi di un ricevitore a radiofrequenza accordata, mostrante il segnale mentre passa nel ricevitore.

tore distante provocano il flusso di una corrente-segnale a radiofrequenza nell'antenna ricevente. Questo segnale a radiofrequenza è amplificato dagli stadî amplificatori a radiofrequenza e quindi rivelato e demodulato dal rivelatore. La risultante uscita ad audiofrequenza dello stadio rivelatore è amplificata dagli stadî amplificatori ad audiofrequenza e quindi viene immessa nella cuffia o nell'altoparlante per la riproduzione del suono. Le forme d'onda disegnate sotto il diagramma a blocchi di figura 107 danno una

indicazione comparativa di questo procedimento per la conversione dei segnali a radiofrequenza in segnali udibili ad audiofrequenza.

68. **Amplificatori a radiofrequenza.**

a) Gli stadî amplificatori a radiofrequenza accordati aumentano la selettività e la sensibilità del ricevitore a radiofrequenza accordata. Maggiore è il numero di stadî impiegati, maggiore sarà questo aumento. Gli aspetti importanti da considerare negli amplificatori a radiofrequenza sono: i tipi di tubi, i trasformatori a radiofrequenza, i condensatori ed i resistori impiegati ed infine la natura dell'allargamento di banda e dei circuiti di disaccoppiamento speciali.

b) I tubi generalmente usati negli amplificatori a radiofrequenza sono tetrodi e pentodi. Può essere usato qualunque tubo conveniente per amplificazione di tensione. I triodi, che una volta erano usati, non sono soddisfacenti poichè essi hanno una forte tendenza a provocare oscillazioni indesiderabili negli stadî amplificatori a radiofrequenza. Essi richiedono pure molta precisione nell'esecuzione della neutralizzazione per evitare effetti di reazione (alimentazione all'indietro) da uno stadio all'altro.

c) Il circuito base di un pentodo amplificatore accordato a radiofrequenza in classe A, è mostrato dalla figura 108. Il circuito accordato L_1 C_1 è accoppiato alla bobina L. che in questo caso è la bobina di antenna, ma potrebbe essere la bobina di placca di uno stadio precedente. Il resistore R_1 ed il condensatore C_2 sono la resistenza di polarizzazione catodica ed il condensatore di fuga catodico. Il condensatore C_3 è il condensatore di fuga dello schermo ed R_2 è il resistore di caduta di tensione dello schermo. Un secondo circuito accordato, L_3 C_5, è accoppiato alla bobina L_2. Le bobine L ed L_1 formano rispettivamente l'avvolgimento primario e quello secondario di un trasformatore a radiofrequenza. Le bobine L_2 e L_3 formano pure un trasformatore a radiofrequenza.

d) Il trasformatore a radiofrequenza usato nel maggior numero di ricevitori a circuiti accordati consiste in una bobina primaria ed in una bobina secondaria. La bobina secondaria L_1 è progettata per coprire la desiderata gamma di frequenza quando viene accordata a mezzo del condensatore d'accordo C_1 connesso ai capi del secondario. Il maggior numero dei trasformatori a radiofrequenza oggi in uso sono del tipo con nucleo ad aria. Possono essere trovati pochi tipi speciali che usano nuclei a polvere di

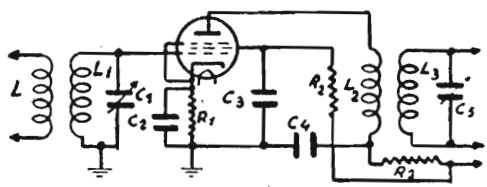


FIG. 108 - Stadio a radiofrequenza di un ricevitore a radiofrequenza accordata.

ferro quando la frequenza di funzionamento non è molto alta. Se è richiesto un ricevitore che deve coprire una gamma di frequenza più grande di quella che è possibile realizzare con una bobina ed un condensatore di accordo, i circuiti d'accordo del ricevitore debbono essere cambiati per poter essere accordati a queste addizionali bande di frequenze. Un sistema consiste nell'impiegare bobine dotate di prese per spine che possono essere cambiate per realizzare le differenti gamme di accordo richieste. Un altro sistema consiste nel montare sul ricevitore le varie bobine per le differenti frequenze e nel portare fuori i conduttori che vengono connessi ad un commutatore rotante a molti contatti. Questo è chiamato un *commutatore di banda* che, manovrato, può selezionare la banda desiderata.

Entrambi i sistemi di cambiamento di banda sono largamente usati nei ricevitori militari.

e) Il maggior numero dei ricevitori a circuiti accordati impiega due o tre stadî di amplificazione a radiofrequenza, che precedono il rivelatore, con ciascuno stadio accordato alla stessa

frequenza. È pertanto più conveniente avere tutti i condensatori d'accordo montati su un albero comune, cosicchè tutti gli stadî possono essere accordati simultaneamente. Si hanno in tal modo condensatori variabili multipli. In un ricevitore avente due stadî a radiofrequenza, deve essere usato un condensatore triplo, con ognuna delle sue sezioni che accordi ciascuno dei tre circuiti accordati del ricevitore. Quando le placche mobili di questi condensatori sono solidali ad un unico asse, le bobine ed i condensatori debbono essere identici. Ciò è necessario affinchè tutti i circuiti possono essere accordati alla stessa frequenza per qualunque posizione della scala. Le imprecisioni delle bobine e dei condensatori e le capacità disperse dei circuiti impediscono di eseguire l'accordo dei circuiti alla stessa frequenza. Pertanto, deve essere escogitato qualche metodo per la compensazione di queste irregolarità. Questo è realizzato connettendo dei piccoli condensatori di regolaggio (« trimmer «) ai capi di ciascun condensatore di accordo. Questi « trimmer » sono regolati con un cacciavite, in modo che ciascun circuito possa essere accordato esattamente alla frequenza del segnale. Questo procedimento è conosciuto con il nome di *allineamento*. In pratica, questi condensatori sono aggiustati in corrispondenza dell'estremità a frequenza più alta della scala, quando cioè le placche dei condensatori d'accordo sono pochissimo affacciate e quindi le loro capacità sono piccole. Così i circuiti saranno propriamente accordati per una posizione della scala, ma essi possono non essere accordati a frequenze identiche per altre posizioni della scala. In qualche complesso ciò viene corretto praticando dei tagli sulla estremità delle placche dei rotori dei condensatori d'accordo, cosicchè qualunque porzione dell'estremità delle placche può essere piegata per essere portata più vicina o più lontana alle placche dello statore. Quando tutti gli stadî si accordano a frequenze identiche per tutte le posizioni della scala, si otterrà dal ricevitore il massimo guadagno. Nei ricevitori che operano con bande cambiabili, i « trimmers » per ciascuna gamma sono usualmente montati sulle singole bobine. Nei ricevitori che coprono solo una banda, i « trimmers » sono usualmente connessi ai capi dei condensatori variabili, uno per ciascuna sezione.

f) I resistori usati negli amplificatori a radiofrequenza e nei circuiti rivelatori sono praticamente tutti del tipo piccolo a carbone. Il loro wattaggio dipenderà dalla caduta di tensione nel resistore e dalla corrente che lo attraversa.

g) L'espansione di gamma è il procedimento per cui viene allargata una piccola sezione della gamma di accordo di un ricevitore estendendola all'intera scala di un quadrante di accordo separato.

Lo scopo dell'espansione di gamma consiste nel provvedere alla separazione delle stazioni affollate in un piccolo intervallo del quadrante di accordo principale. Vi sono due tipi di espansione di gamma: elettrico e meccanico.

1) Nell'espansione di gamma elettrico, un piccolo condensatore variabile è connesso in parallelo nel circuito accordato, con il condensatore d'accordo principale. La gamma di accordo del condensatore di espansione di gamma è solo una frazione della gamma del condensatore principale di accordo. Per aumentare l'importo di allargamento di gamma, il piccolo condensatore può essere derivato fra due prese della bobina, in modo che esso accordi solo una piccola porzione della bobina. La figura 109 mostra due metodi di allargamento di banda elettrico.

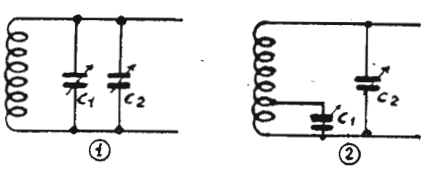


FIG. 109 - Due tipi di allargatori di banda elettrici. — (1) Con condensatore parallelo allargato di banda. — (2) Con presa sulla bobina.

2) Nell'espansione di gamma meccanico, il quadrante dell'espansione di gamma è collegato meccanicamente, a mezzo demoltiplica, al quadrante principale d'accordo, in modo che una rotazione completa del quadrante di espansione faccia muovere il quadrante principale d'accordo ed il condensatore solo per una piccola frazione della sua gamma.

h) Quando parecchi stadî amplificatori sono alimentati da un *comune* alimentatore di placca, vi è la possibilità della generazione di oscillazioni indesiderate, poichè i circuiti di placca dei

vari stadî sono accoppiati insieme a mezzo della impedenza comune dell'alimentatore di placca [*vedere* fig. 110 (1)]. Da notare che la tensione di placca di entrambi i tubi è ottenuta da un comune alimentatore B o di placca. La resistenza *interna* di questo alimentatore comune è rappresentata da R. Qualunque variazione di flusso di corrente di placca nel tubo 2, tale come una corrente–segnale, produrrà una variazione di tensione ai capi di R. Questa produce una variazione della tensione di alimentazione B alla placca del tubo 1 ed induce una tensione in L_1, che è connessa al circuito di griglia del tubo 2. Questo tubo amplificherà la variazione ed essa apparirà ai capi di L_2 come una variazione più grande. Pertanto, si vede che una parte di un segnale proveniente dalla placca del tubo 2 è riportata all'indietro al circuito di griglia dello stesso tubo. Questa situazione può provocare delle oscillazioni indesiderate. I circuiti realizzati per impedire questa condizione sono chiamati *circuiti di disaccoppiamento*; essi sono mostrati nella figura 110 (2). I condensatori C e C_1, insieme con i resistori R_1 e R_2 costituiscono il circuito di disaccoppiamento. I resistori R_1 ed R_2 offrono un'alta impedenza alla tensione–segnale, mentre i condensatori C e C_1 danno passaggio alla tensione–segnale, la quale scavalca così l'alimentatore B. Una bobina di arresto può essere usata invece dei resistori R_1 e R_2. I condensatori di fuga per il catodo, la griglia–schermo e la placca nei circuiti dei ricevitori a radiofrequenza accordata sono usualmente condensatori a carta, ad eccezione che nei circuiti intesi ad operare su frequenze estremamente alte e nei ricevitori progettati per applicazioni speciali, come quelli da installare a bordo di aerei.

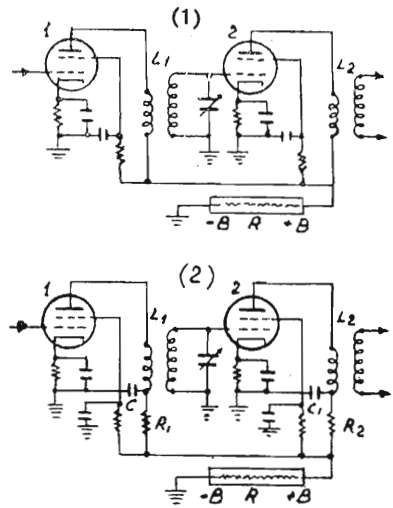


FIG. 110 – Amplificatore a R. F., senza e con circuito di disaccoppiamento.

Nel maggior numero dei ricevitori militari americani, i condensatori a carta sono rinchiusi in scatole metalliche, con due o tre condensatori raggruppati spesso insieme in una sola scatola. Quando un terminale di ciascun condensatore è posto a massa nel circuito, la scatola metallica stessa costituisce spesso il terminale comune di massa.

69. Circuiti rivelatori.

Poichè l'amplificazione di tensione degli amplificatori a radiofrequenza dei moderni ricevitori a circuiti accordati è relativamente grande, la tensione–segnale al circuito d'ingresso dello stadio rivelatore è abbastanza grande. Poichè il rivelatore a caratteristica di griglia è facilmente sovraccaricato da tali forti tensioni, esso oggi è raramente usato nei ricevitori a circuiti accordati. I due circuiti regolari più largamente usati sono il rivelatore a diodo ed il rivelatore di potenza.

70. Controllo di volume.

a) Poichè tutti i segnali non arrivano all'antenna ricevente con intensità uguale, è previsto un controllo di volume o di guadagno in modo che possa essere variato il volume del segnale ricevuto. Ciò può essere compiuto con mezzi vari. Quelli più comunemente usati sono indicati dalle figure 111 e 112. Nella figura 111, il controllo è nel circuito di polarizzazione di griglia di un pentodo a mu–variabile di un amplificatore a radiofrequenza. Sarà ricordato che la variazione della polarizzazione dei tubi a mu–variabile fa aumentare o diminuire il fattore di amplificazione, controllando così il guadagno dello stadio. Il resistore R fornisce la polarizzazione appropriata per il guadagno massimo quando R_C è aggiustato a resistenza zero. Generalmente, sono controllate le tensioni di polarizzazione di tutti i tubi amplificatori a radiofrequenza nel ricevitore, quando è usato questo metodo. Un altro metodo, illustrato nella figura 112, controlla l'importo di tensione ad audio-

frequenza applicato dal rivelatore a diodo alla griglia dell'amplificatore ad audiofrequenza.

b) Una volta che il controllo di guadagno o di volume di un ricevitore è stato posto in un determinato punto, l'uscita dovrebbe rimanere costante, indipendentemente dall'intensità del segnale in arrivo. Lo sviluppo del pentodo a mu–variabile rende ciò possibile, poichè l'amplificazione del tubo può essere controllata dalla tensione di polarizzazione di griglia. Allora tutto quello che è necessario per il controllo automatico di volume è una sorgente di

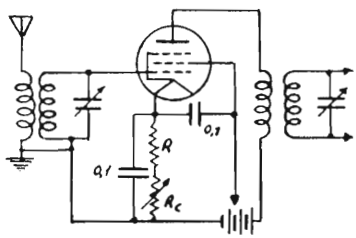


FIG. 111 - Controllo di volume con polarizzazione di griglia.

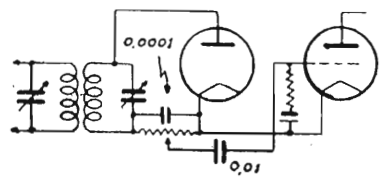


FIG. 112 - Controllo di volume sull'uscita del rivelatore.

tensione che diventi più negativa, quando aumenta l'intensità del segnale. Se questa tensione è applicata come polarizzazione alle griglie dei tubi a mu–variabile degli stadî amplificatori a radiofrequenza, le griglie sono rese più negative quando i segnali diventano più forti. Ciò ridurrà l'amplificazione, tendendo così a mantenere l'uscita del ricevitore ad un livello costante. Il resistore di carico del rivelatore a diodo è una sorgente eccellente di questa tensione, giacchè la tensione–segnale rettificata aumenta e diminuisce con l'intensità del segnale. Un diodo rivelatore tipico con il relativo circuito per il controllo automatico di volume (c.a.v.) è mostrato dalla figura 113. Il segnale è rettificato dal rivelatore a diodo e la corrente rettificata che attraversa il resistore di carico produce una caduta di tensione ai suoi capi, come indicato dalla figura 113. La tensione negativa sviluppata è applicata alle griglie dei tubi a mu–variabile degli stadî a radiofrequenza. Qualunque aumento nell'intensità del segnale provoca una caduta di tensione più grande e quindi un aumento della polarizzazione nega-

tiva agli amplificatori. Ciò determina una diminuzione dell'intensità del segnale al rivelatore. Una diminuzione nell'intensità del segnale al rivelatore riduce l'importo di polarizzazione negativa sui tubi dell'amplificatore, accresce il guadagno in questi stadî ed aumenta l'ingresso al rivelatore. Il circuito filtro toglie le componenti ad audiofrequenza del segnale e soltanto le variazioni più lente dovute al « fading » o a variazioni nella posizione del ricevitore modificano il guadagno degli stadî dell'amplificatore. Il controllo automatico di volume è particolarmente desiderabile nei ricevitori mobili in cui l'intensità è variabile con lo spostarsi del ricevitore.

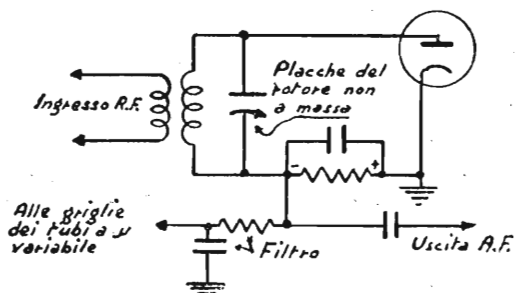


Fig. 113 - Circuito del controllo automatico di volume.

c) Il tubo a mu-variabile è progettato per operare con una polarizzazione minima di circa 3 volt. La polarizzazione minima è fornita usualmente da un resistore catodico e la polarizzazione del c.a.v. è in serie con essa. Uno svantaggio del controllo automatico di volume ordinario è dato dal fatto che pure i segnali più deboli riducono leggermente l'amplificazione. Un adattamento che elimina ciò è mostrato dalla figura 114 ed è denominato controllo automatico di volume *ritardato*. In questo circuito particolare il diodo del c.a.v. è separato dal diodo rivelatore ed entrambi sono racchiusi nello stesso tubo a vuoto insieme ad un pentodo. Parte dell'energia che è alimentata alla placca del diodo rivelatore è accoppiata alla sezione diodo del c.a.v. a mezzo del piccolo condensatore *C*. La placca del diodo del c.a.v. è mantenuta ad una ten-

sione negativa a mezzo della resistenza di polarizzazione catodica R. Ciò impedisce ad essa di rettificare e di produrre quindi la tensione del c.a.v. fino a che la tensione di punta accoppiata ad essa da C non controbilanci la tensione negativa del diodo. Per segnali molto deboli che non producono abbastanza tensione sulla placca del diodo del c.a.v. da sovraccompensare l'esistente potenziale negativo, non è sviluppata tensione del c.a.v. Così, la sensitività del ricevitore rimane la stessa, come se il controllo automatico di volume non fosse usato. Per contro, quando sono ricevuti segnali

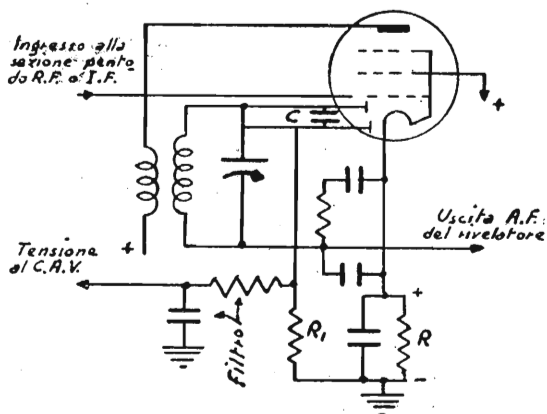


FIG. 114 - Controllo automatico di volume ritardato.

di intensità normale, che non necessitano della massima sensibilità del complesso, sarà accoppiata abbastanza tensione al diodo del c.a.v. da superare il piccolo potenziale negativo di placca esistente e produrre così una caduta di tensione per il c.a.v. attraverso il resistore R_1. Questa tensione è liberata, a mezzo filtraggio, dalle componenti ad audio e radiofrequenza ed è applicata alle griglie dei tubi a mu–variabile, come nel circuito del c.a.v. ordinario.

d) I tubi doppio diodo–triodo e doppio diodo–pentodo, sono largamente usati per fornire la sorgente di tensione del c.a.v. Inoltre il secondo diodo di questi tubi è usato, insieme con il catodo, come un circuito rivelatore a diodo e la sezione triodo o

pentodo è usata come un amplificatore separato. Così, impiegando questi tubi multi–elementi, le funzioni di rivelazione, rettificazione di tensione per il c.a.v. ed amplificazione, sono realizzate con un singolo tubo.

71. Amplificatori ad audiofrequenza.

Poichè il segnale d'uscita dello stadio rivelatore di un ricevitore a radio–frequenza accordata è basso o debole, è pratica normale far seguire lo stadio rivelatore di almeno uno stadio di amplificazione ad audiofrequenza. L'uscita di questo primo amplificatore ad audiofrequenza può essere, se necessario, ulteriormente amplificata, dipendendo ciò dai requisiti a cui deve soddisfare il ricevitore. Una cuffia non può richiedere ulteriore amplificazione dopo il primo stadio ad audiofrequenza, mentre un grande altoparlante può richiedere parecchi stadi aggiuntivi di amplificazione ad audiofrequenza.

72. Schermaggio.

Per impedire l'accoppiamento fra due circuiti, sono usati schermi metallici: di ferro per i circuiti ad audiofrequenza e di rame o di alluminio per i circuiti a radiofrequenza. Tutti gli schermi debbono essere connessi a massa sulla intelaiatura del ricevitore che è la *massa comune* per tutte le connessioni del complesso. Poichè lo schermaggio varia l'induttanza di una bobina, questo fa cambiare la frequenza di risonanza a cui essa deve rispondere. È necessario, pertanto, eseguire nei complessi radio molte regolazioni con gli schermi sul posto.

73. Circuito del ricevitore a radiofrequenza accordata.

a). Lo schema completo di un circuito di ricevitore a radiofrequenza accordata a 5 tubi è mostrato dalla figura 115. Questo ricevitore usa tre stadî di amplificazione a radiofrequenza con pentodi, uno stadio rivelatore, ed uno stadio amplificatore ad

audiofrequenza che aziona un altoparlante. L'alimentazione *A* (tensione di accensione) e l'alimentazione *B* (tensione per le placche) sono fornite ai tubi a vuoto a mezzo di batterie quando è chiuso l'interruttore bipolare. Le linee punteggiate che connettono i quattro condensatori d'accordo indicano che questi condensatori sono comandati a mezzo di un solo albero. Un piccolo condensatore « trimmer » è connesso in parallelo con il corrispon-

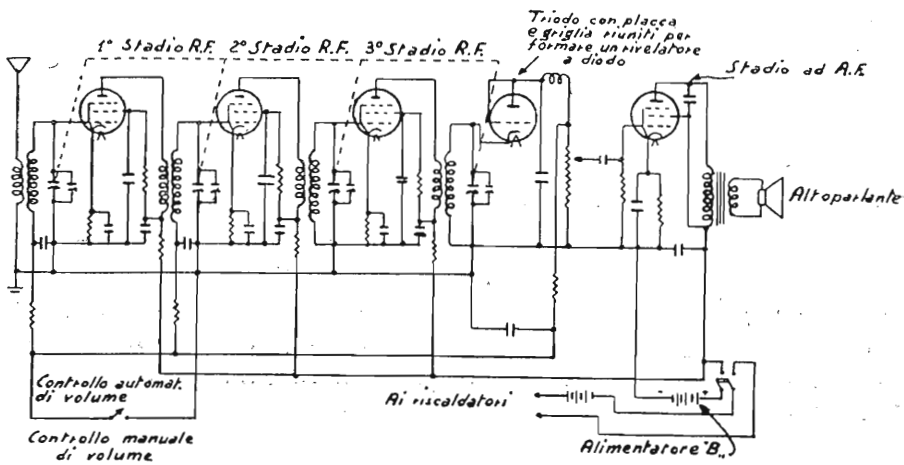


FIG. 115 - **Ricevitore a radiofrequenza accordata con controllo automatico di volume.**

dente condensatore d'accordo principale per l'appropriato allineamento del ricevitore. Questi piccoli condensatori servono per compensare le ineguaglianze delle costanti del circuito. Lo stadio rivelatore è considerato come un diodo poichè la griglia e la placca del triodo sono connessi insieme. Le figure da 116 a 120 comprese riproducono lo stesso schema del ricevitore ponendo in risalto vari circuiti per facilitarne lo studio.

b) Nella figura 116, tutte le parti a massa del ricevitore a radiofrequenza accordata, ossia che si trovano al potenziale dell'intelaiatura, sono indicate con linee più spesse. Tutti i punti sulle linee spesse (massa) sono allo stesso potenziale che è considerato di essere zero volt rispetto al resto del circuito del ricevitore. Tutte le tensioni nel ricevitore sono riferite a questo potenziale di massa.

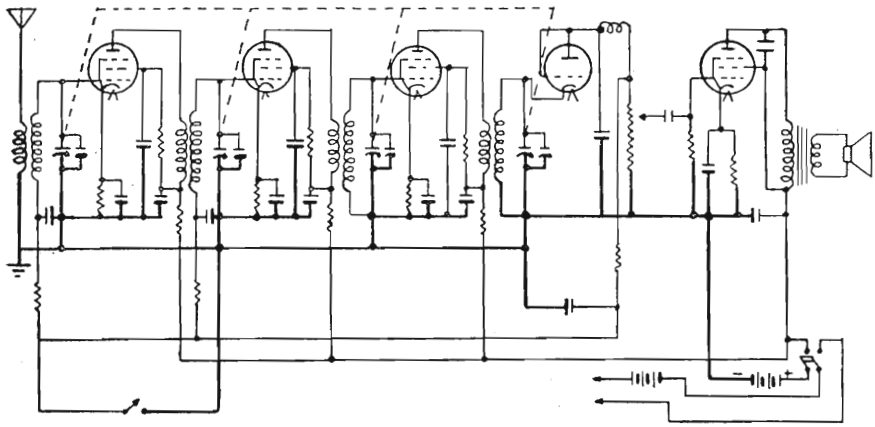


FIG. 116 - Come fig. 115, con gli elementi a potenziale di massa marcati con linee spesse.

c) Nella figura 117 tutti gli elementi del ricevitore ad alta tensione a radiofrequenza sono indicate a mezzo di linee spesse. Con questo diagramma è molto semplice seguire il cammino del segnale a radiofrequenza dal circuito d'antenna al rivelatore a diodo.

d) Nella figura 118, l'alta tensione continua di alimentazione di placca è indicata con linee spesse. Quando è chiuso il commuta-

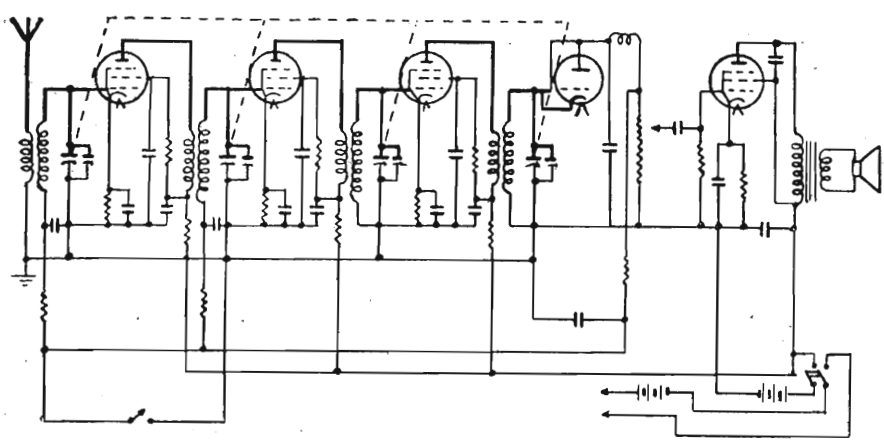


FIG. 117 - Come fig. 115, con gli elementi ad alto potenziale a R. F. marcato con linee spesse.

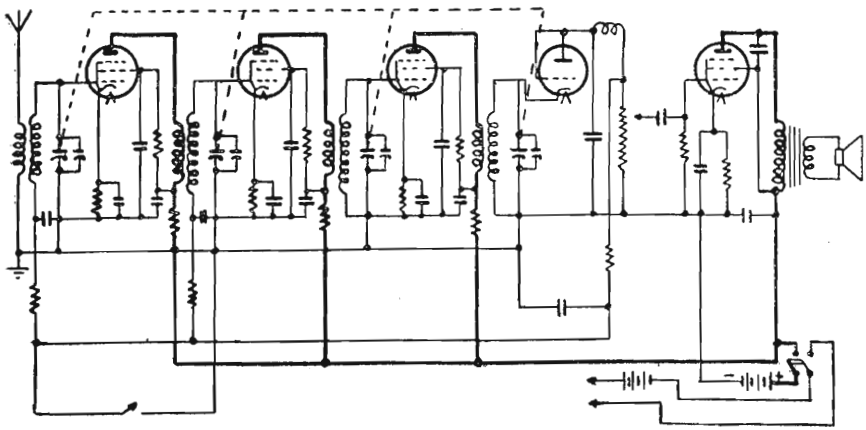


FIG. 118 - Come in fig. 115, con l'alimentazione in continua di placca marcata con linee spesse.

tore, i quattro pentodi ricevono l'alta tensione positiva di placca necessaria per il loro funzionamento come amplificatori. Il diodo, operante come rivelatore, non richiede tensione continua di placca. Da notare i resistori di disaccoppiamento nei conduttori di placca dei primi tre pentodi.

e) Nella figura 119 è mostrato, a mezzo di linee spesse, il circuito completo del rivelatore. Il tubo usato in questo stadio è

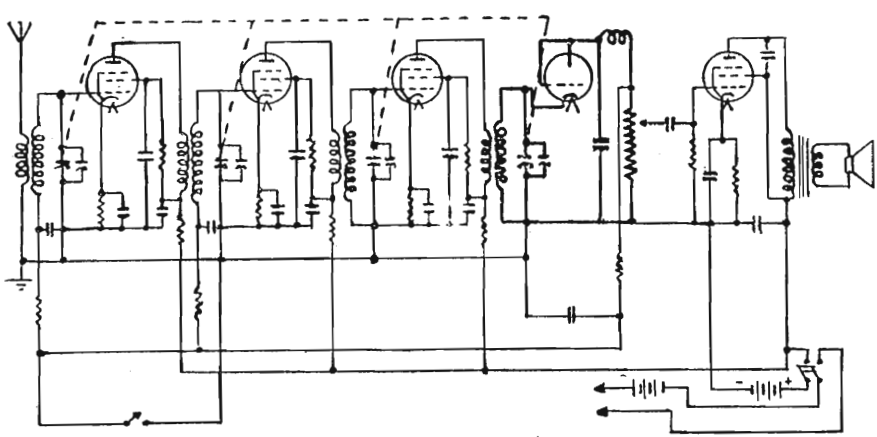


FIG. 119 - Come in fig. 115, con il circuito del rivelatore marcato con linee spesse.

considerato come un diodo. La griglia e la placca del triodo sono connesse insieme, formando così un tubo a due elementi, cioè un diodo. Il segnale rivelato è rettificato e preso da una porzione del potenziometro *R* e trasferito (attraverso un condensatore), alla griglia del pentodo amplificatore ad audiofrequenza.

f) Nella figura 120 è mostrato a mezzo di linee spesse, il circuito del controllo automatico di volume. La tensione–segnale rettificata necessaria per il funzionamento del circuito del c.a.v.

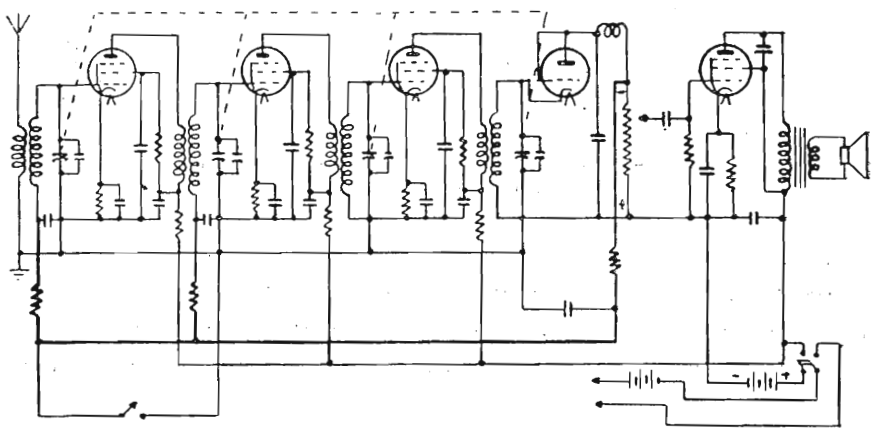


FIG. 120 - Come fig. 115, con il circuito del controllo automatico di volume marcato con linee spesse.

è presa dall'estremità negativa del potenziometro *R* e riportata ai primi due stadî del ricevitore. Sarà notato che soltanto il primo ed il secondo degli amplificatori a radiofrequenza sono alimentati con la tensione del c.a.v. in questo ricevitore. È previsto un commutatore per cortocircuitare il c.a.v. quando esso non è desiderato. Se questo è fatto, il potenziometro *R* è allora usato come un controllo normale di volume che non modifica il funzionamento normale del ricevitore a circuiti accordati.

74. Prestazioni del ricevitore a circuiti accordati.

Benchè il circuito del ricevitore a circuiti accordati dia risultati soddisfacenti quando deve coprire una banda singola di bassa

e media frequenza, tale come la banda di radio diffusione, esso ha molti svantaggi che lo rendono non pratico per l'impiego nei ricevitori in alta frequenza od a bande multiple. Il principale svantaggio del ricevitore a circuiti accordati è che la sua selettività (abilità a separare segnali) non rimane costante per tutto la sua gamma di accordo. Quando il complesso è accordato partendo dalla estremità di bassa frequenza della sua gamma d'accordo, andando verso le più alte frequenze, la sua selettività decresce. Alle alte frequenze che sono largamente usate per le comunicazioni militari, questa mancanza di selettività decresce, e ciò risulta estremamente dannoso. Inoltre l'amplificazione, cioè il guadagno, del ricevitore a radiofrequenza accordata non è costante con la frequenza. È molto difficile poter progettare degli amplificatori a radiofrequenza che forniscano una sufficiente amplificazione per le comunicazioni da effettuare alle frequenze estremamente alte. Il ricevitore a supereterodina è stato sviluppato per eliminare questi inconvenienti.

CAPITOLO VIII

RICEVITORE A SUPERETERODINA

75. Principî di funzionamento della supereterodina.

a) La differenza sostanziale fra il ricevitore a circuiti accordati ed il ricevitore a supereterodina è quella che nel ricevitore a circuiti accordati il segnale a radiofrequenza è amplificato alla frequenza del segnale, mentre nel ricevitore a supereterodina il segnale è amplificato ad una nuova e più bassa frequenza chiamata la *frequenza intermedia.*

b) Le deficienze del ricevitore a circuiti accordati (paragr. 74) sono largamente superate con il ricevitore a supereterodina, combinando nel ricevitore il segnale ricevuto con una frequenza differente per produrre una frequenza intermedia più bassa. Benchè molto più bassa di quella originale, questa nuova frequenza possiede tutte le caratteristiche della modulazione del vecchio segnale. Amplificando questa frequenza più bassa, è possibile usare dei circuiti che sono più selettivi e capaci di un'amplificazione più grande di quella ottenibile dai circuiti usati nei ricevitori a radiofrequenza accordata. Il diagramma a blocchi di un ricevitore tipico a supereterodina, mostrato nella figura 121, indica il modo secondo cui varia il segnale attraversando i differenti stadî. Il segnale a radiofrequenza ricevuto è prima passato attraverso un amplificatore a radiofrequenza. Un segnale a radiofrequenza localmente generato non modulato viene poi mescolato con la frequenza portante nello stadio mescolatore. Ciò produce un segnale a frequenza intermedia che contiene tutte le caratteristiche della modulazione del segnale originale, ma è molto più basso in frequenza. Questa frequenza intermedia è amplificata in uno o più stadî chiamati amplificatori a *frequenza intermedia*, ed è poi applicata al *secondo rivelatore*, dove è rivelata o demodulata. Il segnale rivelato è amplificato nell'amplificatore ad audiofrequenza e quindi applicato ad una cuffia o ad un altoparlante.

c) La conversione del segnale a radiofrequenza originale in frequenza intermedia è una funzione importante del ricevitore a supereterodina. A mezzo di un tubo a vuoto funzionante come rivelatore, è possibile cambiare la frequenza di un segnale radio in un'*altra* frequenza che ritiene l'informazione esistente nel segnale originale. Questo procedimento è conosciuto con il nome di *conversione di frequenza.* Il tubo è chiamato *mescolatore* o *convertitore* e qualche volta *primo rivelatore.* Se un segnale di 1000

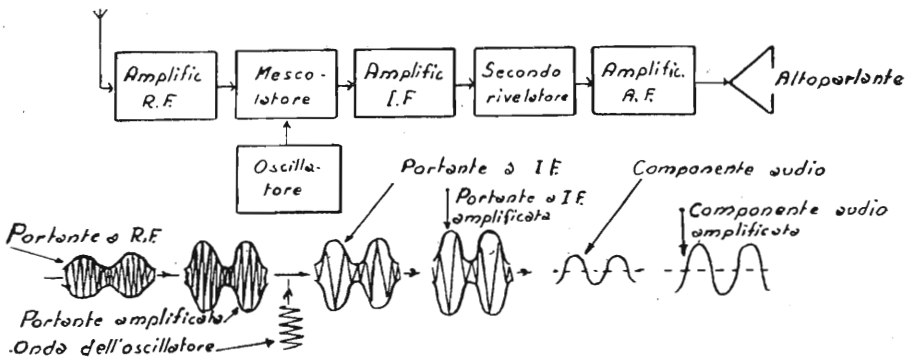


FIG. 121 - Diagramma a blocchi di un ricevitore a supereterodina mostrante il segnale mentre passa nel ricevitore.

chilocicli ed un segnale di 1465 sono applicati ad un mescolatore, si ottengono varie frequenze nell'uscita. Una delle più importanti di queste è la *frequenza di battimento* che è uguale alla differenza fra le due e cioè 465 chilocicli. Questa è la *frequenza intermedia.* Nel ricevitore a supereterodina questi due segnali provengono da sorgenti differenti. Uno di loro è il segnale ricevuto. L'altro proviene da uno stadio speciale impiegato in tutte le supereterodine, conosciuto come l'oscillatore locale o l'oscillatore eterodina. A differenza del segnale ricevuto, il segnale dell'oscillatore eterodina, non è modulato. Nel ricevitore a supereterodina, la frequenza intermedia è stabilita ad un valore definito. La frequenza dell'oscillatore locale deve differire da quella del segnale che si sta ricevendo di un importo uguale a questa frequenza intermedia. Pertanto, quando il ricevitore è accordato a segnali di varie frequenze,

l'oscillatore locale deve essere simultaneamente accordato in modo tale che la sua frequenza sia sempre separata da quella del segnale della medesima quantità. Per esempio, se la frequenza intermedia è 465 chilocicli (che è una frequenza usata comunemente) e la gamma del ricevitore va da 500 a 25.000 chilocicli, l'oscillatore dovrebbe operare sopra una gamma che si estende o da 35 a 24535 chilocicli oppure da 965 a 25465 chilocicli. Quantunque le frequenze dell'oscillatore siano più alte o più basse di quelle del segnale, la differenza è sempre di 465 chilocicli. La gamma più alta è quella generalmente usata ad eccezione di quando occorre ricevere segnali aventi frequenze piuttosto alte. Gli stadî amplificatori a frequenza intermedia sono accordati permanentemente a 465 chilocicli.

76. **Conversione di frequenza.**

a) I circuiti combinati dello stadio oscillatore e dello stadio mescolatore formano il convertitore di frequenza del ricevitore a supereterodina. Vi è un grande numero di combinazioni possibili di tubi e circuiti che possono essere impiegati per la conversione di frequenza. I triodi, i pentodi e i tubi multi-elementi sono usati in vari circuiti e parecchi metodi sono impiegati per mescolare la frequenza d'uscita dell'oscillatore con la frequenza del segnale in arrivo nello stadio mescolatore. L'uscita dell'oscillatore può essere applicata nel circuito di griglia, del catodo o della griglia soppressore del tubo mescolatore; oppure l'accoppiamento può essere conseguito a mezzo di una griglia speciale costruita nel tubo per questo scopo. I tubi convertitori multi-elementi sono stati progettati in modo che le funzioni di generazione delle oscillazioni e di mescolamento possano essere combinate in un solo tubo; il tubo convertitore *pentagriglia* è un esempio di questo tipo ed è largamente impiegato.

b) Quando il convertitore di frequenza impiega un tubo separato come oscillatore locale, il circuito base è del tipo del diagramma mostrato dalla figura 122. Un tubo mescolatore pen-

tagriglia (5 griglie) — figura 122 — combina la frequenza proveniente dall'oscillatore (usualmente un triodo) con la portante a radiofrequenza in arrivo.

c) Un circuito convertitore di frequenza tipico che impiega un triodo oscillatore ed un triodo mescolatore è mostrato dalla figura 123. L'uscita dell'oscillatore è applicata o iniettata nella griglia del mescolatore attraverso un condensatore di accoppiamento. Questo metodo è conosciuto come iniezione di griglia. La bobina ed il condensatore di accordo nel circuito di griglia del mescolatore sono accordati alla frequenza del segnale in arrivo.

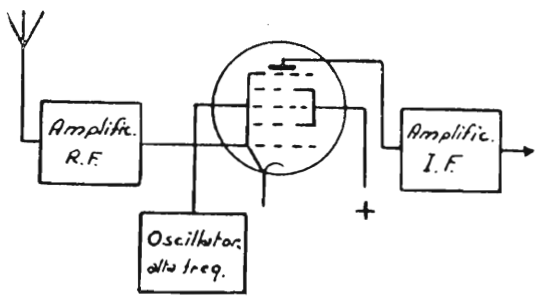


FIG. 122 - Mescolatore pentagriglia.

Il circuito di griglia dell'oscillatore è accordato ad una frequenza più bassa o più alta della frequenza del segnale di un importo uguale alla frequenza intermedia. Il trasformatore a frequenza intermedia nel circuito di placca dello stadio mescolatore è accordato alla frequenza intermedia. L'oscillatore fa uso dello stesso circuito studiato nel paragrafo 54 per il rivelatore rigenerativo. La reazione è di valore tale che il circuito è oscillante ad una frequenza determinata dai valori di L e C. I condensatori C e C_1 sono solidali ad uno stesso asse, per cui quando cambia la frequenza del segnale in ricezione, cambia pure la frequenza dell'oscillatore.

d) Due altri mezzi di accoppiamento fra il mescolatore e l'oscillatore locale sono mostrati dalla figura 124 dove sono usati un mescolatore pentagriglia ed un triodo oscillatore. La figura 124 (1)

mostra l'oscillatore locale accoppiato al tubo mescolatore mediante la bobina L_3 nel circuito catodico del tubo mescolatore. La tensione a radiofrequenza indotta nella bobina L_3 fa fluttuare a questa frequenza la corrente di placca del tubo mescolatore. Il segnale in arrivo indotto nella bobina L_2 nel circuito di griglia del mescolatore modifica pure la corrente di placca. Queste due frequenze sono mescolate insieme ed il loro battimento, che è la frequenza intermedia, sarà prodotta nel circuito di placca accordato.

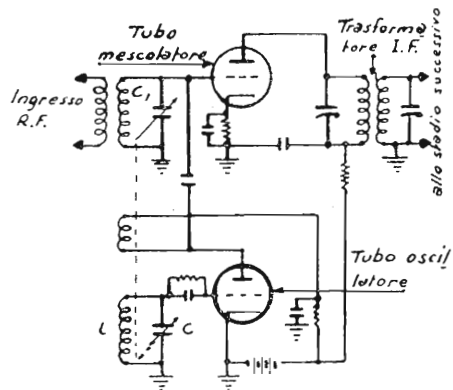


FIG. 123 - Circuito convertitore di frequenza che impiega un triodo oscillatore ed un triodo mescolatore.

L'interazione fra l'oscillatore ed il mescolatore è alquanto ridotta accoppiando la tensione dell'oscillatore al catodo, come mostrato. La figura 124 (2) mostra un secondo metodo di conversione di frequenza che accoppia un mescolatore pentagriglia avente due griglie controllo indipendenti, ad un tubo separato oscillatore locale. Oltre un riscaldatore e ad un catodo, il tubo possiede cinque griglie concentriche ed una placca. La griglia 1, che è la più vicina al catodo e la griglia 3 sono le griglie controllo del tubo, mentre le griglie 2 e 4 sono griglie schermo. La griglia 5 è una griglia soppressore. L'oscillatore locale è accoppiato alla griglia 3 ed il segnale in arrivo è applicato alla griglia 1, che è chiamata la griglia segnale. La tensione applicata a queste griglie modifica la corrente di placca, producendo così una nota di battimento o frequenza intermedia nel

circuito di placca del tubo. Questo tubo funziona molto bene nelle bande delle alte frequenze per effetto dell'eccellente schermaggio fra le griglie del segnale e dell'oscillatore.

e) Un altro tipo di conversione di frequenza impiega un tubo singolo avente l'oscillatore ed il mescolatore di frequenza combinati nello stesso complesso. Questo tipo di tubo ha pure cinque

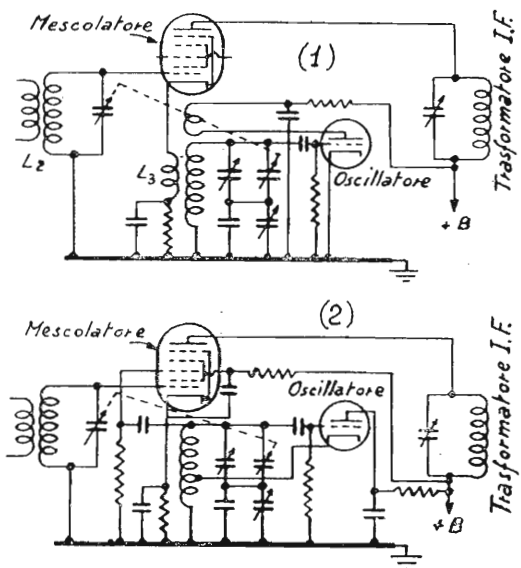


FIG. 124 - Metodi di accoppiamento fra oscillatore locale e mescolatore. — (1) A mezzo della bobina L_3 nel circuito catodico del tubo mescolatore. — (2) A mezzo di iniezione nella griglia del tubo mescolatore.

griglie ed è chiamato *convertitore pentagriglia.* Il circuito base del convertitore pentagriglia è mostrato dalla figura 125 onde poterlo meglio confrontare con il diagramma di figura 122. Il convertitore pentagriglia effettua l'accoppiamento mediante il flusso elettronico proveniente dal catodo. Esso può essere visualizzato come un dispositivo in cui la corrente di placca è modulata dalle variazioni nell'emissione catodica. Il funzionamento di un convertitore pentagriglia è tale che è necessario soltanto un tubo per convertire la frequenza del segnale desiderato dal suo valore originale in una

frequenza intermedia. Le griglie 1 e 2 ed il catodo sono connesse ad un circuito oscillatore convenzionale ed agiscono come in un oscillatore a triodo. La griglia 1 è usata come la griglia dell'oscillatore e la griglia 2 è usata come la placca. In questo circuito, le due griglie ed il catodo possono essere considerati come un catodo virtuale, che fornisce al resto del tubo un flusso elettronico che varia alla frequenza dell'oscillatore. La tensione-segnale è applicata alla griglia 4 che controlla ulteriormente il flusso elettronico per cui le variazioni di corrente di placca sono una combinazione delle frequenze dell'oscillatore e del segnale in arrivo. Il circuito

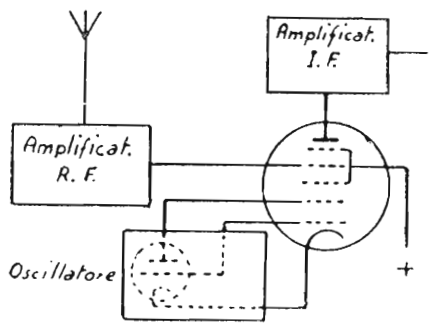


FIG. 125 - Convertitore pentagriglia.

di placca del convertitore pentagriglia è accordato alla desiderata frequenza intermedia. Le griglie 3 e 5 sono connesse insieme entro il tubo così da formare una griglia schermo che serve ad accelerare il flusso elettronico ed a schermare elettrostaticamente la griglia 4 dagli altri elementi.

f) Un circuito convertitore pentagriglia tipico è mostrato nella figura 126. Il segnale a radiofrequenza in arrivo è alimentato da L_1 nel circuito di griglia accordato di L_2 e C_1. Esso è allora applicato alla griglia controllo della sezione tetrodo del tubo, ossia alla griglia 4. Nella sezione oscillatore del tubo, l'energia a radiofrequenza viene trasferita per accoppiamento induttivo dall'induttanza L_4 del circuito di placca, al circuito di griglia accordato consistente di L_3, C_2 e C_4. C_2 è il condensatore di accordo principale. La polarizzazione di griglia per la sezione tetrodo del tubo è

assicurata dal flusso di corrente di placca attraverso la resistenza catodica R_2. Il segnale in arrivo e la tensione dell'oscillatore sono eterodinati nel flusso elettronico che partendo dal catodo arriva alla placca. La tensione d'uscita ha una frequenza di battimento uguale alla differenza fra le frequenze del segnale in arrivo e dell'oscillatore.

g) Il condensatore C_4, posto in serie con il condensatore d'accordo C_2 è chiamato il condensatore « padding ». Questo condensatore è necessario perchè la frequenza del circuito oscillatore accordato è *più alta* di quella del circuito a radiofrequenza. Esso è quindi necessario per avere un valore basso d'induttanza e di capacità nel circuito dell'oscillatore onde poter ottenere una frequenza più alta. In qualche complesso a supereterodina questo è compiuto costituendo il circuito oscillante con una bobina e con un condensatore più piccoli. In altri, come in quello di figura 126, è più conveniente l'impiego di condensatori delle stesse dimensioni in entrambi i circuiti e di ridurre il valore del condensatore dell'oscillatore ponendo un condensatore fisso o variabile in serie con esso. Un piccolo condensatore « trimmer » può pure essere posto ai capi del condensatore d'accordo dell'oscillatore per compensare qualunque piccola deviazione di frequenza.

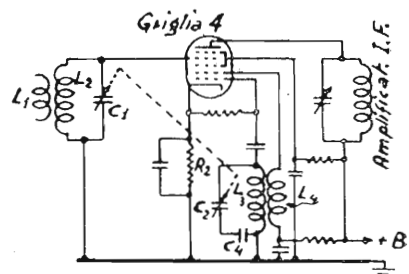


FIG. 126 - Accoppiamento dell'oscillatore al mescolatore a mezzo di un flusso elettronico modulante proveniente dal catodo del tubo mescolatore.

77. Amplificatori a frequenza intermedia.

a) L'amplificatore a frequenza intermedia è un circuito ad alto guadagno permanentemente accordato alla frequenza fra quella dell'oscillatore locale e quella del segnale in arrivo. I pentodi sono generalmente usati in questi amplificatori, che possono consistere, in uno, due o tre stadî. Ciascuno stadio è regolato sulla

frequenza intermedia stabilita. Poichè tutti i segnali in arrivo sono convertiti nella stessa frequenza dal convertitore di frequenza, questo amplificatore opera soltanto su una frequenza. Pertanto i circuiti accordati possono essere permanentemente aggiustati per l'amplificazione massima e la desiderata selettività. È in questo amplificatore che è sviluppata praticamente tutta l'amplificazione di tensione e la selettività della supereterodina.

b) I trasformatori a frequenza intermedia sono accordati alla desiderata frequenza a mezzo di condensatori regolabili o « trimmers ». Sono usati condensatori « trimmers » sia ad aria che a mica. Generalmente i trasformatori a frequenza intermedia sono a doppio accordo e cioè con entrambe le bobine, primaria e secondaria, accordate alla frequenza appropriata. Per applicazioni speciali sono usati trasformatori a frequenza intermedia a singolo accordo, nel cui caso è accordato solo l'avvolgimento secondario. I trasformatori a frequenza intermedia sono costruiti sia con nuclei ad aria che a polvere di ferro. Qualche trasformatore a frequenza intermedia con nucleo di ferro ha condensatori a mica d'accordo fissi. L'accordo è allora compiuto spostando, a mezzo di cacciavite, in dentro o in fuori nella bobina, i nuclei di ferro. Ciò è conosciuto con il nome di accordo per variazione di permeabilità. I trasformatori ed i condensatori a frequenza intermedia sono montati in piccoli contenitori metallici che servono da schermi. Quando sono usati condensatori regolabili ed induttori fissi, i condensatori sono piccoli in confronto con i grandi condensatori multipli d'accordo impiegati negli stadi a radiofrequenza. Dei piccoli alberi fuoriescono dalla sommità di questi condensatori; questi possono essere raggiunti, attraverso un piccolo foro praticato nel contenitore, da un cacciavite per eseguire la regolazione dei condensatori che, pertanto, può essere effettuata senza rimuovere il contenitore di schermaggio.

c) Il diagramma di uno stadio singolo di amplificazione a frequenza intermedia che impiega un pentodo è mostrato dalla figura 127. Il trasformatore T_1 è il trasformatore a frequenza

intermedia. Il circuito secondario $L_2 - C_2$ che è accoppiato induttivamente al primario, è accordato a questa stessa frequenza e serve quale circuito d'ingresso alla griglia del tubo. Il resistore R_1 nel circuito del catodo fornisce la necessaria tensione di polarizzazione di griglia mentre il condensatore C_3 dà passaggio alle correnti a radiofrequenza attorno a questo resistore. Il resistore R_2 ed il condensatore C_4 sono rispettivamente il resistore limitatore della tensione di schermo ed il condensatore di fuga di schermo. Il resistore R_3 ed il condensatore C_5 servono come dispositivo di disaccoppiamento per impedire a qualunque corrente-segnale di

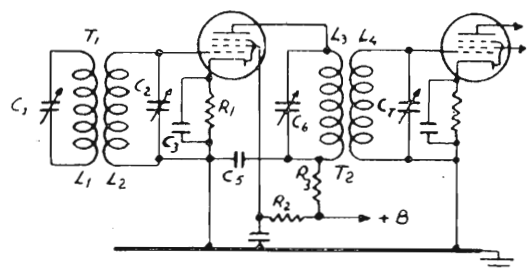


FIG. 127 - Circuito di un singolo stadio di amplificatore a I. F. impiegante un pentodo.

fluire all'indietro nel circuito e provocare interazione fra gli stadî. Il condensatore C_5 fornisce alle correnti-segnale un cammino di bassa impedenza verso il catodo o a massa, mentre il resistore R_3 impedisce a qualunque corrente segnale di scorrere nell'alimentatore di placca. Questi dispositivi di disaccoppiamento possono essere impiegati nei circuiti di griglia, griglia-schermo e placca. Il circuito $L_3 - C_6$ è il circuito accordato primario del secondo trasformatore a frequenza intermedia T_2. Il circuito secondario $L_4 - C_7$ è accoppiato al primario ed è il circuito d'ingresso del tubo successivo, che può essere un altro amplificatore a frequenza intermedia oppure il secondo rivelatore. I due circuiti risonanti del secondo trasformatore a frequenza intermedia T_2 sono accordati alla stessa frequenza dei circuiti del trasformatore T_1.

d) Poichè l'amplificatore a frequenza intermedia deve fornire la massima parte del guadagno del ricevitore a supereterodina, il

numero di stadî di amplificatori a frequenza intermedia impiegati dipende generalmente dalla sensibilità richiesta per il ricevitore. Nei moderni ricevitori a supereterodina sono impiegati da uno a tre stadî di amplificazione a frequenza intermedia.

e) La frequenza intermedia di una supereterodina dipende, in generale, da due fattori il primo del quale è la desiderata selettività. Più alta è la frequenza intermedia e più (o meno selettivo) sarà l'accordo del ricevitore. Il secondo fattore è la differenza fra la frequenza segnale e la frequenza intermedia molto più bassa della frequenza del segnale. Per questa ragione, i ricevitori usati a frequenze estremamente alte usano una frequenza intermedia abbastanza elevata. La frequenza intermedia più comune varia da 456 a 465 chilocicli, benchè frequenze molto basse come 85 chilocicli, e molto alte come 12.000 chilocicli, sono trovate nei ricevitori progettati per scopi speciali.

f) Se è richiesto un accordo estremamente selettivo in un ricevitore, può essere usato un cristallo di quarzo piezoelettrico quale cristallo filtro, nell'amplificatore a frequenza intermedia. Il cristallo agisce come un circuito accordato ma è molte volte più selettivo di quello fatto con bobine e condensatori. Il cristallo opererà soltanto su una frequenza che è determinata dallo spessore del cristallo. Un circuito a cristallo filtro tipico impiegato nei ricevitori professionali è mostrato nella figura 128. La piccola capacità fra le placche metalliche del contenitore del cristallo, a meno che non siano prese delle precauzioni per bilanciarla, darà passaggio a qualche segnale indesiderato attraverso il cristallo. Questo bilanciamento è compiuto prendendo una tensione dalla bobina a presa centrale L_2, a 180° fuori fase con la tensione–segnale e applicandola al condensatore C di rifasamento del cristallo, eppertanto essa neutralizza il segnale indesiderato. Il circuito di ingresso bilanciato può essere ottenuto sia impiegando un condensatore a statore suddiviso, sia impiegando una bobina a presa centrale come in figura 128. Chiudendo l'interruttore posto ai capi del cristallo, viene cortocircuitato il circuito del cristallo filtro, rimanendo uno stadio ordinario a frequenza intermedia. L'uscita del cristallo

filtro è applicata ad una presa su L_3 — che è il circuito di ingresso dello stadio successivo — affinchè si possa realizzare l'appropriato adattamento di impedenza.

g) Per mantenere la frequenza intermedia di una supereterodina centrata sulla sua banda, è usato qualche volta il controllo automatico di frequenza. Questo dispositivo è utile per compensare qualunque variazione di frequenza dell'oscillatore locale. Mentre i dettagli del suo funzionamento possono essere compresi soltanto dopo lo studio del Capitolo XIII, il principio informatore non è difficile. Se la frequenza intermedia si sposta dal centro della sua banda, cioè varia leggermente dalla sua corretta frequenza, il discriminatore (un rettificatore) trasforma la variazione di frequenza in una proporzionale variazione di tensione. Questa tensione è applicata ad un tubo nel circuito di controllo della frequenza che, insieme ad un condensatore e un resistore posti ai capi del circuito oscillante dell'oscillatore locale, varierà la reattanza ma non la resistenza del circuito oscillante e quindi farà variare la frequenza dell'oscillatore locale. Il circuito del controllo automatico di frequenza, quando regolato appropriatamente, farà sì che qualunque spostamento nella frequenza intermedia porterà l'oscillatore locale a funzionare sulla sua corretta frequenza.

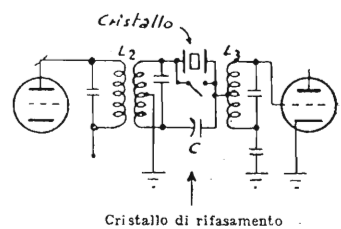


FIG. 128 - Circuito a cristallo filtro tipico.

h) I limitatori di rumori sono occasionalmente impiegati nei circuiti a frequenza intermedia delle supereterodine per sopprimere forti impulsi di breve durata, tali come le interferenze dovute agli scintillî di contatto dei motori od agli statici atmosferici. In uno di tali circuiti limitatori di rumori, una parte della frequenza intermedia è derivata lungo un cammino parallelo con il regolare amplificatore a frequenza intermedia. Essa raggiunge un tubo rivelatore speciale, che è così fortemente polarizzato che il segnale a frequenza intermedia è fermato in questo punto. Se un istantaneo e ripido impulso eleva la tensione di griglia del tubo rivela-

tore sopra l'interdizione, l'impulso lo attraverserà e sarà applicato all'indietro fuori di fase, bloccando così l'impulso istantaneo che tendeva a passare attraverso il regolatore amplificatore a frequenza intermedia.

78. **Amplificatori a radiofrequenza.**

a) Un amplificatore a radiofrequenza non è assolutamente necessario in una supereterodina, ma esso costituisce un conveniente dispositivo aggiuntivo per le seguenti ragioni. Se lo stadio convertitore fosse connesso direttamente all'antenna potrebbero essere ricevuti dei segnali indesiderati. Questi sono chiamati segnali–*immagini*. Poichè lo stadio mescolatore produce la frequenza intermedia eterodinando due segnali di cui la frequenza differenza eguaglia la frequenza intermedia, tutte le coppie di segnali le cui frequenze differiscono della frequenza intermedia produrranno un segnale a frequenza intermedia. Per esempio, se il ricevitore è accordato a ricevere un segnale di 2000 chilocicli e la frequenza dell'oscillatore è di 1500 chilocicli, sarà prodotto un segnale a frequenza intermedia di 500 chilocicli. Tuttavia un segnale di 1000 chilocicli è pure in grado di produrre nel mescolatore un segnale a frequenza intermedia di 500 chilocicli, poichè la differenza fra la sua frequenza e quella dell'oscillatore è di 500 chilocicli. Pertanto deve essere escogitato qualche metodo per non fare arrivare questi segnali–immagini nello stadio mescolatore. La selettività aggiuntiva fornita da un amplificatore a radiofrequenza ci fornisce la soluzione. Poichè l'amplificatore a radiofrequenza amplifica fortemente il segnale desiderato e non la immagine, la possibilità dell'interferenza immagine è considerevolmente ridotta.

b) Quasi tutti i ricevitori a supereterodina sono forniti di almeno uno stadio di amplificazione a radiofrequenza. Gli amplificatori a radiofrequenza, quando impiegati nei ricevitori a supereterodina, sono qualche volta chiamati *preselettori*.

79. Oscillatori della frequenza di battimento.

a) Per poter ricevere dei segnali a codice in onde continue con un rivelatore rigenerativo è necessario fare oscillare il rivelatore ad una frequenza leggermente differente da quella del segnale in arrivo così da produrre (a mezzo di eterodinaggio) un segnale udibile (*vedere* pag. 56). In un ricevitore supereterodina, ciò è fatto con un oscillatore separato conosciuto con il nome di *oscillatore della frequenza di battimento* o di nota, che è accordato ad una frequenza che differisce dalla frequenza intermedia di una frequenza udibile. Per esempio, un oscillatore della frequenza di battimento accordato a 501 chilocicli produrrà una nota di battimento di 1 chilocicli, ossia una frequenza udibile, quando è eterodinato con un segnale a frequenza intermedia di 500 chilocicli. L'uscita di questo oscillatore è applicata al secondo rivelatore del ricevitore.

b) Il circuito oscillatore della frequenza di battimento è mostrato dalla figura 129. Un commutatore ed un mezzo per

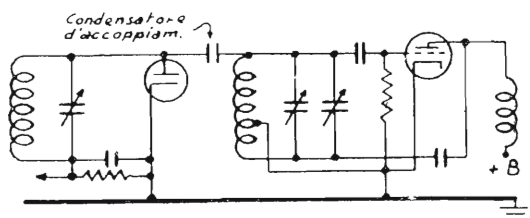


FIG. 129 – Un oscillatore di battimento di frequenza accoppiato al secondo rivelatore di una supereterodina.

il controllo della frequenza sono usualmente posti nel pannello frontale del ricevitore per inserire lo stadio oscillatore e per controllare la frequenza, o l'altezza del suono, del segnale udibile.

80. Secondo rivelatore.

I rivelatori usati nei ricevitori a supereterodina per rivelare o demodulare la frequenza intermedia sono gli stessi tipi generali di quelli impiegati nei ricevitori a circuiti accordati. Il controllo automatico di volume è largamente usato nei circuiti a supereterodina. La tensione del c.a.v. può essere applicata ad uno qualunque o a tutti gli stadi che precedono il secondo rivelatore ad eccezione dell'oscillatore locale.

81. Amplificatori audio.

Gli amplificatori ad audiofrequenza usati nei ricevitori a supereterodina seguono gli stessi principî generali di quelli impiegati nei ricevitori a circuiti accordati. Quella che occorre principalmente considerare è la potenza d'uscita richiesta.

82. Circuito generale della supereterodina.

a) Lo schema del circuito di un ricevitore a supereterodina a sei tubi alimentato con batterie è mostrato dalla figura 130. Questo ricevitore ha uno stadio accordato a radiofrequenza, preselettore (amplificazione a radiofrequenza), un triodo che agisce come oscillatore locale, un mescolatore pentagriglia, due stadî di amplificazione a frequenza intermedia, un diodo che fornisce la tensione di controllo automatico di volume ritardato, un diodo rivelatore ed un pentodo nello stadio di uscita amplificatore di potenza ad audiofrequenza che alimenta un altoparlante. L'alimentazione ai riscaldatori e l'alimentazione *B* (tensione di placca) sono fornite ai vari stadî a mezzo di batterie quando viene chiuso un interruttore bipolare. I tubi amplificatori ottengono le loro polarizzazioni di griglie a mezzo delle combinazioni resistore–condensatore inserite nei circuiti catodici di ciascuno dei cinque tubi. Le linee a puntini connettenti i tre condensatori di accordo indicano che questi condensatori variabili ad aria sono solidali ad un unico

asse. Dei piccoli condensatori « trimmer » sono connessi in parallelo con ciascuno dei condensatori d'accordo per l'appropriato allineamento del ricevitore. Il primo stadio a frequenza intermedia impiega un tubo complesso conosciuto col nome di triodo–pentodo. La sezione del pentodo del tubo funziona come un lineare amplificatore a frequenza intermedia, e la sezione triodo, funzionante come oscillatore, può essere inserita nel circuito per provvedere all'azione di eterodinaggio occorrente per rendere udibile la rice-

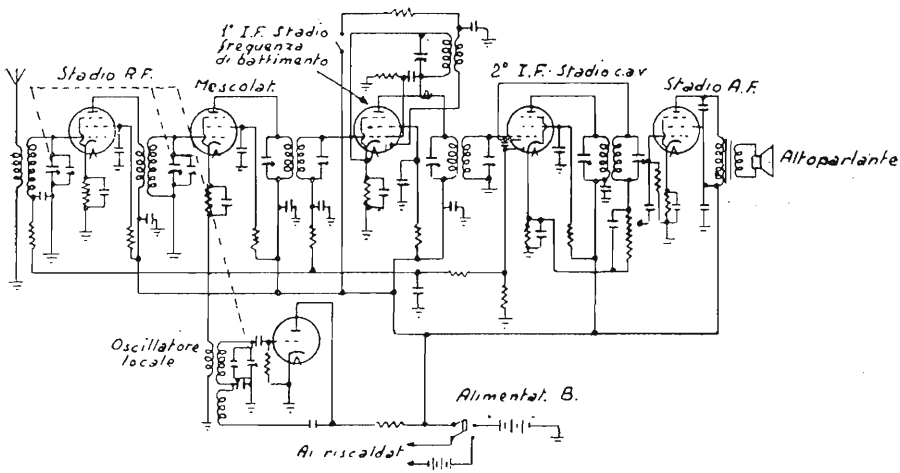


FIG. 130 - Ricevitore supereterodina.

zione dei segnali ad onde continue. Il secondo stadio a frequenza intermedia raggruppa parecchie funzioni in un tubo conosciuto col nome di doppio diodo–pentodo. Questo tubo contiene un pentodo amplificatore a frequenza intermedia e due diodi: un diodo agisce come rivelatore lineare del segnale, l'altro fornisce una tensione rettificata al c.a.v. Le figure dalla 131 alla 134, riproducono lo stesso schema del ricevitore a supereterodina ponendo in risalto vari circuiti per facilitarne lo studio.

b) Nella figura 131 sono contrassegnate con linee più marcate tutte le parti del circuito a supereterodina relative al secondo rivelatore. Un singolo diodo (del tubo doppio diodo–pentodo) fornisce la tensione–segnale ad audiofrequenza ai capi del resistore varia-

bile o *controllo di volune*. Qualunque aliquota di questa tensione può essere alimentata al pentodo amplificatore di potenza ad audiofrequenza ed il livello scelto dal controllo di volume può essere mantenuto dall'azione del controllo automatico di volume ritardato.

c) Nella figura 132 il circuito del c.a.v. ritardato è mostrato con linee più marcate. La tensione–segnale rettificata necessaria per il funzionamento di un circuito per c.a.v. è ottenuta dal secondo

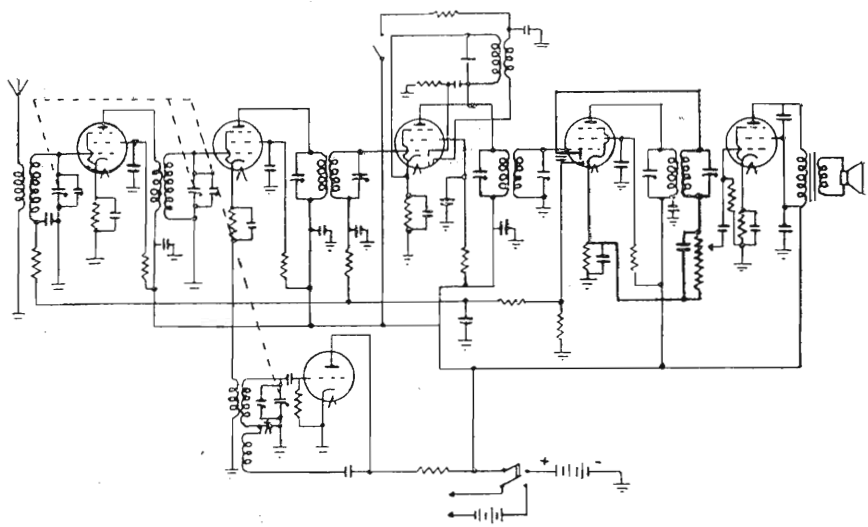


FIG. 131 - Come fig. 130, con il secondo rivelatore marcato con linee spesse.

diodo del tubo doppio diodo–pentodo. Essa è fatta passare attraverso resistori di isolamento, è filtrata dall'azione dei condensatori di fuga per la radiofrequenza ed è applicata sia al primo stadio amplificatore a radiofrequenza che al primo stadio amplificatore a frequenza intermedia.

d) Nella figura 133 è mostrato con linee più marcate il circuito dell'oscillatore locale. Il circuito accordato che determina la frequenza dell'oscillatore locale, è composto da una bobina fissa e da un importo di capacità variabile consistente: in un condensatore variabile d'accordo ad aria, un condensatore « trimmer » regola-

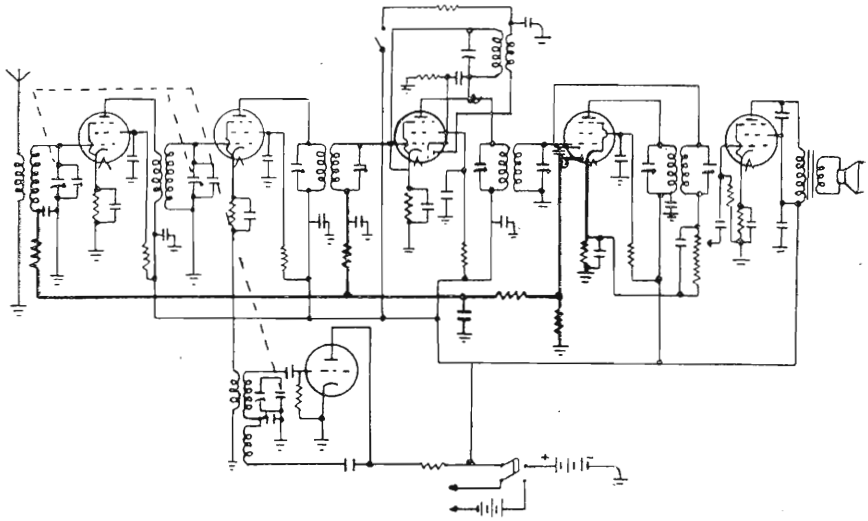


FIG. 132 - Come fig. 130, con il circuito del controllo automatico di volume ritardato, marcato con linee spesse.

bile in parallelo con il condensatore d'accordo, e un condensatore « padding » regolabile in serie con il condensatore d'accordo.

e) Nella figura 134 è mostrato con linee più marcate il circuito oscillatore della frequenza di battimento. La sezione del pentodo

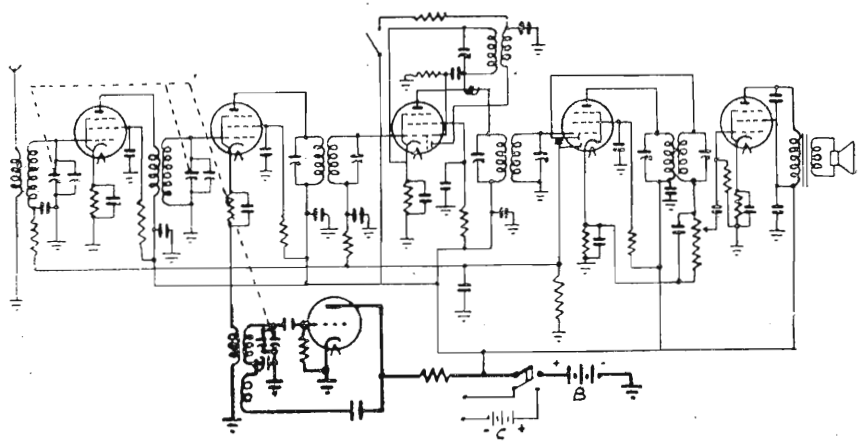


FIG. 133 - Come fig. 130, con l'oscillatore locale marcato con linee spesse.

del tubo (triodo–pentodo) primo amplificatore a frequenza intermedia funziona come un normale amplificatore a frequenza intermedia quando è aperto l'interruttore che alimenta l'oscillatore della frequenza di battimento. Quando è chiuso questo interruttore, il pentodo continua ad operare come un amplificatore a frequenza intermedia ma vengono pure generate le oscillazioni nella sezione triodo del tubo alla frequenza determinata dal suo circuito accordato esterno. A mezzo di un piccolo condensatore

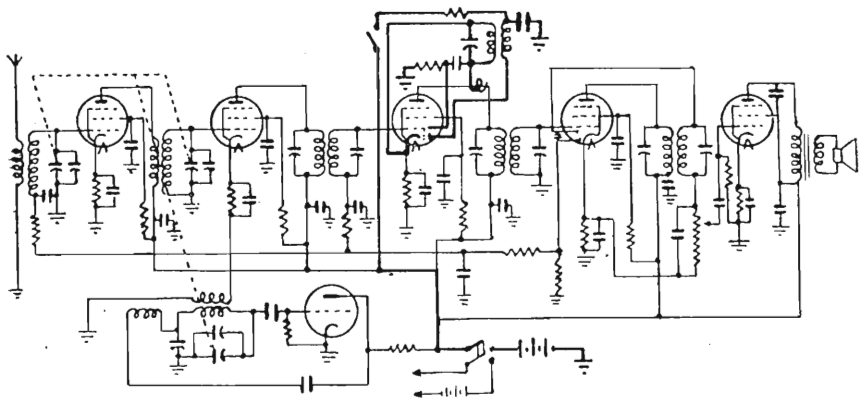


Fig. 134 - Come fig. 130, con l'oscillatore per battimento di frequenza per la ricezione delle onde continue marcato con linee spesse.

variabile, può essere alterata la frequenza di questo circuito accordato per differenti segnali in arrivo, in modo che le oscillazioni locali prodotte nel circuito rigenerativo abbiano frequenza leggermente differente di quella del segnale in arrivo. Quando queste due frequenze sono mescolate nel primo stadio amplificatore a frequenza intermedia, vi è un'azione di eterodinaggio producente un segnale udibile che è usata per la ricezione della trasmissione a codice con onde continue.

83. Ricevitori militari tipici a supereterodina.

a) Uno schema di circuito completo di un ricevitore militare tipico a supereterodina è mostrato dalla figura 135. Questo ricevitore è alimentato con corrente alternata a 110 volt ed impiega

otto tubi a vuoto. La tensione–segnale a radiofrequenza proveniente dal circuito d'antenna è amplificata da uno stadio amplificatore a radiofrequenza a pentodo. Un'altra radiofrequenza, generata nello stadio dell'oscillatore locale, è mescolata con la tensione–segnale nello stadio mescolatore con tubo pentagriglia, per creare la portante a frequenza intermedia. Questa frequenza intermedia è amplificata da uno stadio amplificatore a f.i. con

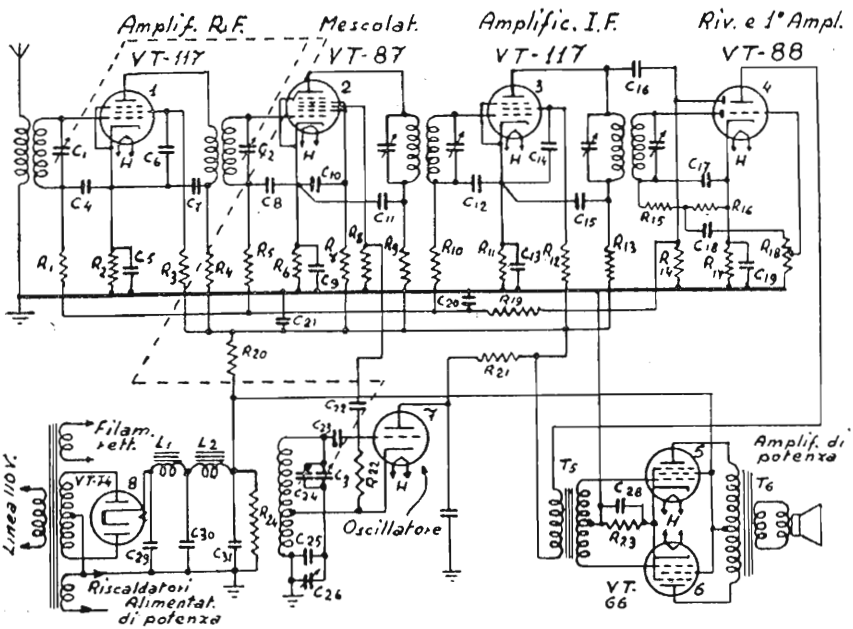


FIG. 135 – Circuito di un moderno ricevitore militare a supereterodina.

pentodo ed è successivamente rivelata dalla sezione a diodo rivelatore di un tubo doppio–diodo triodo. Il segnale ad audiofrequenza risultante è applicato alla sezione triodo di questo tubo complesso che opera come uno *stadio amplificatore di tensione ad audiofrequenza.* Questo segnale è ulteriormente amplificato da uno *stadio amplificatore di potenza ad audiofrequenza in «push–pull»* utilizzante due pentodi; questo stadio alimenta l'altoparlante. L'alta tensione continua per le placche e la bassa tensione alternata per i riscaldatori dei tubi a vuoto sono ottenute dallo *stadio alimentatore di*

potenza che usa un circuito rettificatore ad onda completa. Sarà notato che in figura 135 ogni tubo ed ogni elemento di circuito ha un numero di identificazione. Ciò per facilitare un'analisi più completa del ricevitore quando viene seguito il segnale partendo dall'antenna e arrivando all'altoparlante.

b) Assumiamo che il ricevitore sia accordato ad un segnale di 1000 chilocicli e che la frequenza dell'amplificatore a frequenza intermedia sia di 465 chilocicli. Il segnale è raccolto dall'antenna ed applicato alla griglia del tubo amplificatore a radiofrequenza (VT–117) attraverso il trasformatore di accoppiamento a radiofrequenza T_1. Il segnale è allora amplificato dal tubo ed applicato al trasformatore d'accoppiamento a radiofrequenza T_2. Esso è allora applicato alla griglia di controllo (griglia n. 1) del tubo mescolatore (VT–87). I circuiti di griglia dello stadio a radiofrequenza e dello stadio mescolatore sono entrambi accordati ai 1000 chilocicli del segnale a mezzo di una singola manopola di controllo che comanda un albero su cui sono solidamente calettati i condensatori C_1 e C_2. Il condensatore C_4 è di fuga per il resistore di disaccoppiamento di griglia R_1. R_2 è il resistore di polarizzazione e C_5 il condensatore di fuga per R_2. R_3 è il resistore di caduta di tensione per la griglia schermo e C_6 è il condensatore di fuga per R_3. R_4 e C_7 costituiscono il filtro per la corrente di placca che impedisce al segnale a radiofrequenza di chiudersi a massa attraverso l'alimentazione, evitando così un accoppiamento comune fra gli stadî. L'oscillatore ad alta frequenza (VT–65) deve generare oscillazioni aventi una frequenza più alta di 465 chilocicli di quella della portante a radiofrequenza. L'oscillatore è pertanto accordato da C_3 (che è solidamente calettato sull'asse che porta C_1 e C_2) a 1.465 chilocicli. C_{24} è un «trimmer» per C_3 e C_{26} è un «trimmer» per C_{25} che è il condensatore «padder» impiegato per mettere «in binario» l'oscillatore con l'amplificatore a radiofrequenza. R_{22} è il resistore di polarizzazione del l'oscillatore e C_{23} è un condensatore di blocco usato per impedire all'induttore dell'oscillatore di cortocircuitare R_{22}. R_{21} è il resistore di caduta della tensione di placca dell'oscillatore e C_{27} è il condensatore di fuga per R_{21}. C_{27} serve pure come condensatore di

blocco per impedire il cortocircuito della tensione di placca a massa. La tensione ad alta frequenza è iniettata nel flusso elettronico del tubo mescolatore a mezzo della griglia 3. R_8 è il resistore iniettore polarizzante di griglia e C_{22} è il condensatore di accoppiamento per l'oscillatore. Il segnale a 1.000 chilocicli e il segnale a 1.465 chilocicli sono mescolati nel flusso elettronico dello stadio mescolatore. Lo stadio a frequenza intermedia funziona nello stesso modo dello stadio a radiofrequenza, con l'eccezione che esso lavora sempre alla frequenza intermedia ed è pertanto molto più efficiente dello stadio a radiofrequenza. I trasformatori a frequenza intermedia T_3 e T_4 sono accordati permanentemente ai 465 chilocicli della frequenza intermedia ed usualmente hanno bisogno soltanto di controlli occasionali per il corretto allineamento. La sezione diodo più bassa del tubo 4 (VT–88) è per il rivelatore avente R_{15} ed R_{16} quale resistore di carico. C_{17} è il condensatore di fuga per radiofrequenza. Con R_{15} esso forma un filtro a radiofrequenza per impedire alla componente a radiofrequenza del segnale di arrivare alla sezione ad audiofrequenza attraverso il condensatore di blocco C_{18} ed il controllo di volume R_{18}. La tensione–segnale audio sviluppata attraverso R_{16} appare pure attraverso il controllo di volume R_{18}. Tutta od una parte di questa tensione, a seconda della posizione del braccio variabile, è alimentata alla griglia del primo amplificatore audio (sezione triodo del tubo 4). R_{17} è il resistore di polarizzazione per il primo amplificatore ad audiofrequenza e C_{19} è il suo condensatore di fuga. La tensione a frequenza intermedia proveniente dalla placca del tubo amplificatore a f.i. è applicata attraverso il condensatore di blocco C_{16} alla placca del diodo superiore, che rettifica la tensione–segnale per sviluppare la tensione del c.a.v. R_{14} è il resistore di carico per il diodo del c.a.v. La tensione continua sviluppata ai capi di questo resistore è in serie nei circuiti di griglia dell'amplificatore a radiofrequenza, del mescolatore e dell'amplificatore a frequenza intermedia. Essa è applicata alle griglie attraverso il resistore filtro R_{19} del c.v.a. R_{19} e C_{20} agiscono come un filtro per eliminare qualunque componente audio di questa tensione e così non permettono alle polarizzazione di griglia di questi tubi di fluttuare a frequenza

audio. L'uscita del primo amplificatore ad audiofrequenza è applicata alle griglie dell'amplificatore in « push–pull » attraverso il trasformatore d'accoppiamento T_5. R_{23} è il resistore di polarizzazione per entrambi questi tubi e C_{28} è il suo condensatore di fuga. L'uscita dell'amplificatore di potenza è applicata alla bobina vocale dell'altoparlante attraverso il trasformatore d'uscita (d'adattamento) T_6.

c) T_7 è il trasformatore di potenza; il tubo 8 è il rettificatore di potenza; L_1 e L_2 sono le bobine di arresto del filtro; C_{29}, C_{30} e C_{31} sono condensatori filtro e R_{24} è il resistore di dispersione.

Le funzioni specifiche di ciascuna di queste parti saranno discusse nel Capitolo IX.

84. **Allineamento.**

a) Per poter manovrare uno o più stadî a radiofrequenza di una supereterodina con un singolo organo di controllo, i condensatori d'accordo degli stadî a radiofrequenza e dell'oscillatore sono calettati solidamente su un albero comune. Quando si gira la manopola di controllo, i vari stadî a radiofrequenza debbono tutti risultare accordati alla stessa frequenza e l'oscillatore locale deve marciare in modo tale che la frequenza fra quella dell'oscillatore locale e quella degli stadî a radiofrequenza risulti sempre uguale alla frequenza intermedia. Quando i circuiti sono regolati in questo modo, si dicono allineati. I condensatori « trimmer » in parallelo) sono usati per assicurare l'allineamento dell'estremità ad alta frequenza della banda ed i condensatori « padder » (in serie) sono usati per assicurare l'allineamento dell'estremità a bassa frequenza della banda. In generale, il solo oscillatore locale è dotato di un condensatore «padder». È pure necessario di regolare gli stadî a frequenza intermedia in modo che essi siano tutti accordati alla frequenza intermedia. Uno stadio qualunque di una supereterodina male allineato causerà una diminuzione di sensibilità o di selettività o di entrambe.

b) Un oscillatore calibrato o generatore di segnali, dei cacciaviti e delle chiavi con manici isolanti, e qualche forma d'indicatore d'uscita sono necessari per effettuare un appropriato allineamento in un moderno ricevitore a supereterodina. Il generatore di segnale è un oscillatore calibrato in frequenza e capace di liberare sia un segnale ad onde continue che un segnale modulato. Sono previsti gli organi per poter regolare la tensione–segnale di uscita da pochi microvolt all'intera tensione d'uscita. Cacciaviti e chiavi con manici isolanti sono usati per poter regolare i circuiti accordati. I cacciaviti e le chiavi isolanti possono essere costruiti con un materiale isolante di composizione ed ugualmente sono muniti di punte metalliche le quali, mentre assicurano una migliore prestazione e una maggiore durata dell'utensile, pongono un minimo di metallo nel campo del circuito che è sotto regolaggio. L'indicatore di uscita può essere uno strumento misuratore di uscita, un altoparlante, una cuffia, un oscillografo od un tubo indicatore d'accordo.

CAPITOLO IX

ALIMENTATORI DI POTENZA

85. Richieste di potenze dei circuiti radio.

a) I tubi a vuoto usati nei vari circuiti dei ricevitori e dei trasmettitori radio richiedono delle tensioni di valori vari per i circuiti di filamento, di schermo e di placca. Lo scopo dell'alimentatore è quello di fornire queste tensioni. Ad eccezione della potenza occorrente per il filamento, che può essere in corrente alternata, le altre potenze debbono essere fornite in corrente continua. Pertanto l'uscita di un alimentatore deve essere in corrente continua, la più pura possibile, e la tensione deve avere il valore corretto per gli apparati che la debbono utilizzare. I trasmettitori radio richiedono molta più potenza dei ricevitori. Conseguentemente i trasmettitori operano a tensioni più alte ed erogano correnti più forti.

b) L'energia occorrente per riscaldare i filamenti dei tubi è qualche volta chiamata l'alimentazione *A* e normalmente avrà un valore basso di tensione. Nei complessi radio militari portatili, l'alimentazione occorrente per il catodo o filamento è generalmente fornita da batterie di pile o di accumulatori. I complessi mobili e semifissi usano generalmente batterie di accumulatori per l'accensione dei filamenti. Nelle installazioni permanenti a terra, i filamenti sono riscaldati dalla corrente d'uscita dei trasformatori riduttori, allacciati direttamente alla rete di energia industriale a corrente alternata.

c) L'alimentatore della placca e dello schermo è qualche volta chiamato l'alimentatore *B* ed avrà usualmente un'alta tensione di uscita. L'alimentazione di placca di una stazione radio (trasmettitore e ricevitore) portatile è generalmente fornita da batterie di pile. Dinamotori, alimentati da batterie di accumulatori, sono generalmente usati per fornire l'alimentazione di placca

ai complessi portatili e mobili; qualche volta sono usati, per gli stessi complessi, degli elettrogeneratori azionati a pedale o a mano. Per i trasmettitori semiportabili vengono usati gruppi elettrogeni con motore a benzina. Le installazioni permanenti impiegano per l'alimentazione di placca tipi speciali di rettificatori provvisti di sistemi di filtraggio.

d) Quando è usata una tensione di polarizzazione di griglia, essa è qualche volta chiamata alimentazione *C*. La polarizzazione di griglia per gli amplificatori di tensione è abitualmente presa da una parte dell'alimentatore di placca. Per grandi tubi amplificatori di potenza è frequentemente impiegato un separato sistema rettificatore–filtro o un generatore di corrente continua.

e) Gli alimentatori per i circuiti radio si possono dividere in tre classi generali: con batterie, con corrente alternata, con sistemi elettromeccanici.

86. Alimentazione con batterie.

I piccoli ricevitori e trasmettitori portatili sono usualmente alimentati a mezzo di batterie a secco (pile). La corrente erogata dalle batterie è piccola e gli apparati possono funzionare per parecchie ore prima di dover sostituire le batterie di pile. Dei monoblocchi (comprendenti batterie per la placca, la griglia e per il filamento) sono previsti per qualche complesso; altri complessi adoperano invece batterie separate di filamento, di placca e di griglia. Le batterie hanno il vantaggio di erogare una corrente continua esente da fluttuazioni. Tuttavia, quando sono richieste forti tensioni e correnti, esse divengono ingombranti e costose.

87. Alimentazione con corrente alternata.

a) Questo tipo di alimentazione è generalmente usato quando è disponibile l'energia a c.a. della rete industriale. Per l'alimentazione in corrente alternata delle installazioni campali sono previsti anche dei gruppi elettrogeni in c.a. che possono sostituirsi alla rete.

b) Tutti gli alimentatori azionati dalla corrente alternata possono essere divisi in quattro parti: trasformatore, rettificatore, filtro e resistore zavorra oppure sistema divisore di tensione. Il trasformatore serve per elevare o abbassare la tensione fornita dalla rete o dal gruppo motore–alternatore. Il rettificatore serve a convertire la corrente alternata in corrente continua pulsante. Il filtro spiana la corrente continua pulsante ed il sistema divisore di tensione è usato per ottenere le varie tensioni continue per i circuiti di placca, di schermo e di griglia controllo.

88. **Rettificatori con tubi a vuoto.**

a) Il diodo trova il suo più importante impiego come tubo rettificatore sia negli alimentatori di potenza dei ricevitori che dei trasmettitori. Un semplice rettificatore a corrente alternata consistente in un singolo diodo è mostrato dalla figura 136. Quando una tensione alternativa è applicata fra i punti *A* e *B*, gli elettroni fluiranno dal catodo alla placca del diodo durante le alternanze positive di ciascun ciclo [fra i punti 1 e 2 di figura 136 (1)]. Durante la successiva alternanza (tra i punti 2 e 3), la tensione di placca è negativa rispetto al catodo e non fluirà corrente nel circuito. Pertanto, poichè il diodo farà passare corrente soltanto durante le alternanze positive di ciascun ciclo, la corrente fluirà in una sola direzione attraverso il resistore di carico *L*. Poichè è usata soltanto una metà di ciascun ciclo in questo tipo di rettificatore, esso è chiamato un rettificatore ad una semionda. La figura 136 (1) mostra l'ingresso in corrente alternata e la figura 136 (3) mostra la tensione di uscita pulsante di un rettificatore ad una semionda. Sarà notato che le pulsazioni hanno la stessa frequenza della tensione alternativa applicata. Ciò rende difficile una filtrazione appropriata. Se è necessaria una tensione più alta, può essere usato un trasformatore elevatore.

b) Un rettificatore ad onda completa è composto di due rettificatori in semionda che lavorano su alternanze opposte, utilizzando così il ciclo completo della tensione alternativa. I due retti-

ficatori sono connessi in modo da comporre all'uscita le due semionde come è indicato dalla figura 137. Riferendoci a questa figura, assumiamo che durante la prima alternanza la placca del tubo *A* sia positiva rispetto alla presa centrale del trasformatore. Poichè la placca di questo tubo è positiva, gli elettroni fluiranno come è indicato dalle frecce a linea continua. Durante l'alternanza successiva la tensione attraverso l'avvolgimento secondario del trasformatore sarà invertita, rendendo così la placca del tubo *B* positiva rispetto alla presa centrale e la placca del tubo *A* negativa. Non fluirà corrente attraverso *A* poichè la sua placca è adesso negativa. Tuttavia, la placca del tubo *B* è positiva e gli elettroni fluiranno ancora attraverso il resistore di carico *L*. Il flusso di elettroni durante l'alternazione negativa è rappresentato dalle frecce disegnate con linee a trattini. Sarà notato che la corrente attraverso il resistore *L* è sempre nella stessa direzione. Da osservare pure che vi sono due pulsazioni di corrente continua per ciascun ciclo di corrente alternata, una per l'anternanza positiva ed una per l'alternanza negativa. Così si vede che sono utilizzate entrambe le alternanze e che le pulsazioni dell'uscita di un rettificatore ad onda completa hanno frequenza doppia di quella della potenza d'ingresso. Con ciò è più facile eseguire un filtraggio migliore. Per le tensioni relativamente basse, come quelle richieste dai ricevitori, il rettificatore ad onda completa può consistere in due placche e in un filamento o catodo racchiusi in un solo involucro. Per le tensioni più alte, richieste dai trasmettitori, sono usualmente usati due tubi separati.

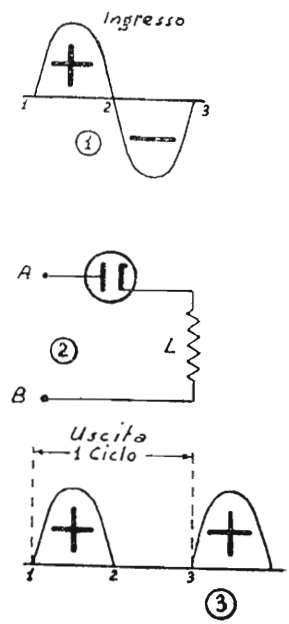


FIG. 136 - Rettificatore in semionda.

c) I rettificatori con tubi a vuoto sono di due tipi generali: con *tubi ad alto vuoto* e con *tubi a vapore di mercurio*. Il primo offre il vantaggio di una maggior robustezza, il secondo di una più alta

efficienza. Entrambi i tipi di tubi contengono due elementi, una placca ed un catodo, ed entrambi operano sul principio del flusso di corrente che avviene solo durante gli intervalli in cui il potenziale di placca è positivo. I diodi ad alto vuoto sono impiegati come rettificatori per gli alimentatori di potenza dei radioricevitori e per gli stadî di bassa potenza dei trasmettitori. La caduta di tensione attraverso questo tipo di rettificatore è proporzionale alla corrente che attraversa il tubo ed è abbastanza alta in con-

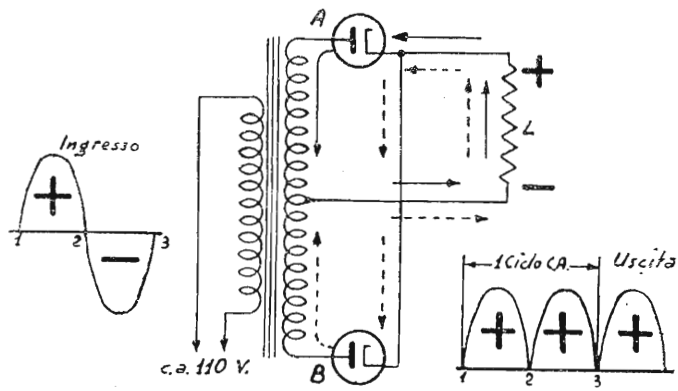


FIG. 137 - Rettificatore ad onda completa.

fronto all'altro tipo. Il tubo rettificatore a vapore di mercurio è più usato dove debbono essere manipolate tensioni più alte e correnti più forti. La caduta di tensione attraverso un tubo a vapore di mercurio è estremamente bassa, essendo approssimativamente di 15 volt, indipendentemente dalla corrente erogata al carico.

89. Filtri per gli alimentatori di potenza.

a) L'uscita di un sistema rettificatore con tubi a vuoto è costituita da pulsazioni di corrente e tensione, tutte nella stessa direzione. Prima che questa tensione rettificata possa essere applicata ai circuiti di placca o di griglia, essa deve essere spianata ossia trasformata in tensione continua non fluttuante. Tale azione di

spianamento delle pulsazioni è compiuta a mezzo di circuiti filtro che sono dispositivi elettrici consistenti in induttori in serie e condensatori in parallelo. I circuiti filtro possono essere classificati in filtri a condensatore d'ingresso e in filtri a bobina d'ingresso a seconda che l'ingresso del filtro è costituito da un condensatore in parallelo o da un induttore in serie (bobina di arresto). La figura 138 (1) mostra un tipo del filtro a condensatore d'ingresso; la

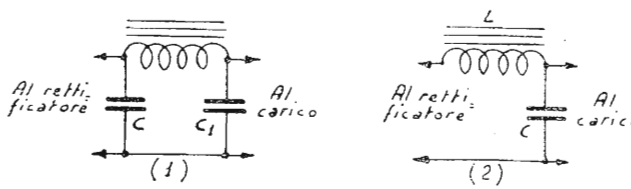


FIG. 138 - Tipi di filtri.

figura 138 (2) mostra un tipo a bobina di ingresso. Una resistenza di carico connessa all'uscita di un rettificatore ad onda completa è mostrata dalla figura 139 (1). La tensione attraverso il carico

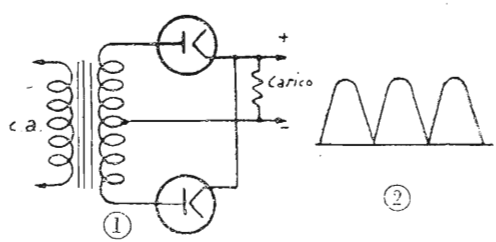


FIG. 139 - Carico connesso all'uscita di un rettificatore ad onda completa e forma d'onda della corrente attraverso il carico.

seguirà le pulsazioni della corrente alternata rettificata, come mostrato dalla figura 139 (2). Questa è la forma della tensione d'uscita per un rettificatore sprovvisto di filtro.

b) Il filtro condensatore [fig. 140 (1)] è il tipo più semplice di filtro e consiste in un singolo condensatore, C_1, connesso ai capi dell'uscita del rettificatore in parallelo con il carico. Durante l'intervallo di tempo in cui la corrente alternata rettificata si

avvicina al suo valore di punta, essa carica il condensatore ed inoltre libera una corrente al carico. Dopo aver raggiunta la tensione di punta, l'uscita del rettificatore incomincia a decrescere sino a che è completata l'alternanza. Durante questo periodo di diminuzione della tensione applicata, il condensatore ha una tensione più alta della tensione d'uscita del rettificatore. Poichè il condensatore non può scaricarsi all'indietro attraverso il tubo rettificatore, esso deve liberare la sua energia al carico. I valori della capacità del condensatore e della tensione applicata determi-

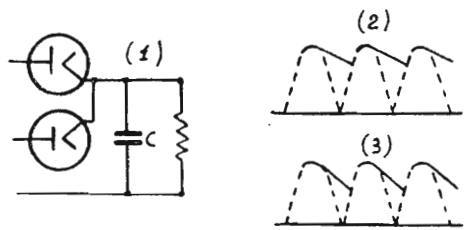


Fig. 140 - Forme d'onda d'uscita con condensatore filtro. — (1) Rettificatore con condensatore filtro. — (2) Tensione ai capi di *C* con piccola corrente di carico. — (3) Tensione ai capi di *C* con forte corrente di carico.

nano l'importo di energia che può essere immagazzinata dal condensatore. Se la corrente di carico è piccola, il condensatore si scaricherà lentamente [*vedere* fig. 140 (2)]. Una forte corrente di carico farà scaricare il condensatore più rapidamente [*vedere* fig. 140 (3)]. Questo filtro, mentre elimina una parte delle fluttuazioni di tensione dell'uscita del sistema rettificatore, presenta parecchi svantaggi. L'importo di tensione fluttuante (« ripple ») che rimane nell'uscita è più grande di quella che può essere tollerata nelle alimentazioni di placca dei ricevitori, degli amplificatori e degli apparati trasmittenti radiotelefonici. Un altro svantaggio del tipo di filtro a condensatore singolo è dato dalla forte corrente erogata dal tubo rettificatore. Mentre il condensatore si carica, esso assorbe una corrente di valore molto più grande di quella assorbita dal carico. Questa corrente di carica del condensatore più la corrente attraverso il carico può dare una corrente

risultante abbastanza grande da danneggiare il tubo rettificatore. Il sistema costituito da un singolo condensatore d'ingresso, non è consigliabile quando sono usati tubi rettificatori a vapore di mercurio ad alte tensioni, poichè la forte corrente che carica il condensatore può danneggiare il catodo.

c) Una bobina di arresto in serie può essere aggiunta nel filtro a condensatore semplice di figura 140 (1) ottenendo un apprezzabile miglioramento nell'azione filtrante. Tale filtro a condensatore d'ingresso è mostrato dalla figura 141. L'induttore, o bobina di arresto, ha un nucleo di ferro e può avere un valore che va da 10 a 45 henry. Deve essere posta molta attenzione quando si sostituiscono le bobine di arresto negli alimentatori di potenza difettosi.

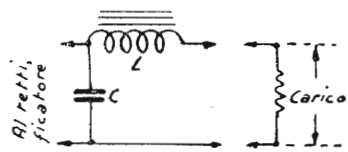


FIG. 141 - Un semplice condensatore filtro con bobina d'arresto.

Una bobina di arresto progettata per essere impiegata sul lato negativo del sistema filtro non è sufficientemente isolata per sopportare le alte tensioni che esistono fra il lato positivo e la massa. Poichè l'intera corrente di carico fluisce attraverso questa bobina di arresto, essa deve avere piccola resistenza alla corrente continua. La bobina di arresto offre alta opposizione alle pulsazioni della corrente. Questa proprietà della bobina L produce un effetto di spianamento sull'uscita rettificata e, quando combinata con il condensatore in parallelo C, si determina un effetto aggiuntivo di spianamento. L'azione del condensatore, quando è impiegata la bobina di arresto, è simile a quella che si ha con filtro a condensatore singolo: il condensarore C si carica mentre aumenta la tensione fino a raggiungere il valore di punta, e la corrente contemporaneamente incomincia a fluire, attraversando L, al carico. Ma l'induttanza della bobina di arresto L impedisce qualunque variazione rapida nella corrente che fluisce al carico e così aiuta il condensatore C ad immagazzinare l'energia.

L'azione completa di questo tipo di filtro è mostrata dalla figura 142. Il condensatore si è caricato completamente in A

di figura 142 (2) quando la tensione di ingresso incomincia a diminuire.

La bobina di arresto, per effetto della sua azione induttiva, si oppone a qualunque diminuzione nella corrente attraverso il carico, ed il condensatore, essendo caricato ad una tensione più alta di quella applicata, incomincia a scaricarsi lentamente attraverso la bobina. Ma prima che il condensatore abbia perduto molto della sua carica, esso incomincia a ricevere un'altra carica dall'impulso successivo, come mostrato a *B* di figura 142 (2). Il condensatore riceve energia dal rettificatore durante l'intervallo

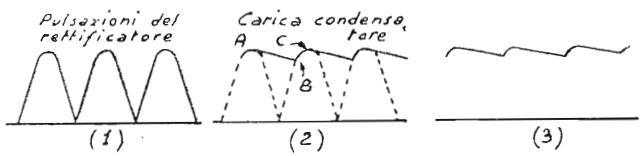


FIG. 142 - Forme d'onda del filtro mostrato dalla fig. 141. — (1) Uscita del rettificatore. — (2) Ciclo di carica e scarica del condensatore. — (3) Forma d'onda all'uscita del filtro.

di tempo da *B* a *C* [fig. 142 (2)], caricandosi ancora a circa la tensione di punta dell'onda rettificata. L'azione della bobina di arresto e del condensatore per la seconda alternanza dell'onda è la stessa come per la prima e ciò è ripetuto per ogni mezzo ciclo. La forma d'onda della tensione d'uscita applicata al carico è mostrata dalla figura 142 (3).

d) L'aggiunta di un secondo condensatore in parallelo C_1 ai capi del filtro a condensatore d'ingresso, come indicato dalla figura 143, abbassa le fluttuazioni della tensione di uscita ad un valore inferiore di quello relativo alla figura 142 (3).

Questo circuito, consistente in una bobina di arresto e in due condensatori in parallelo, è considerato come una sezione di filtro. Se è desiderato un sistema più elaborato, può essere aggiunta una altra sezione di filtro, come mostrato dalla figura 144, migliorando considerevolmente la tensione d'uscita che si avvicina moltissimo ad una tensione continua pura.

e) Il tipo di filtro a bobina d'ingresso, come quello a capacità d'ingresso, può avere parecchie forme differenti. Un semplice filtro a bobina d'ingresso, costituito da un solo induttore, è mostrato dalla figura 145. La forma d'onda della tensione d'uscita (attraverso il carico) è pure mostrata dalla figura 145. La bobina di arresto offre un'alta reattanza, od opposizione, a qualunque

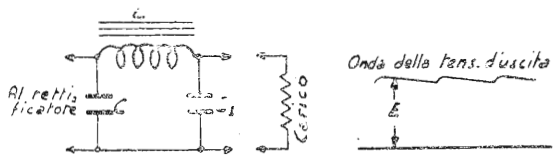


FIG. 143 - Circuito di un filtro completo con condensatore d'ingresso e forma d'onda d'uscita.

variazione della corrente che l'attraversa. La tensione all'ingresso del filtro aumenta da zero all'inizio dell'alternanza, ma la corrente cresce più lentamente rispetto al sistema con condensatore d'ingresso.

La bobina toglie parte delle fluttuazioni di tensione opponendosi a qualunque aumento rapido di corrente che l'attraversa ed

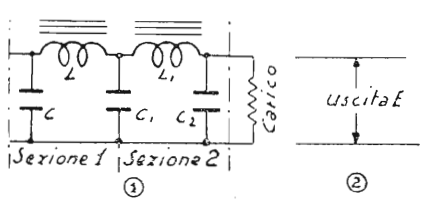


FIG. 144 - Filtro a due sezioni con condensatore d'ingresso e forma d'onda d'uscita.

agisce tendendo a mantenere la corrente ad un valore costante quando l'uscita del rettificatore incomincia a diminuire. In modo simile la bobina ritarda la diminuzione di corrente sino a quando la seconda alternanza, proveniente dal rettificatore, non incomincia a fornire energia al circuito. Lo stesso processo si ripete per ciascuna successiva alternanza.

f) Un singolo condensatore aggiunto al semplice filtro con bobina d'ingresso di figura 145, eliminerà la maggior parte delle fluttuazioni dall'uscita del filtro. Il condensatore è posto attraverso l'uscita in parallelo con il carico e l'insieme costituisce una sezione di filtro con bobina d'ingresso. Il circuito di una sezione di filtro è mostrato dalla figura 146 (1), con l'onda della ten-

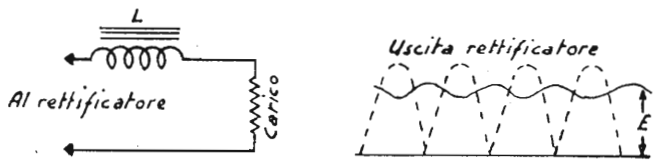


FIG. 145 - Filtro con bobina d'ingresso e forma d'onda d'uscita.

sione di uscita (attraverso il carico), per una data forma d'onda proveniente dal rettificatore. Un filtro con due sezioni e con l'analoga forma d'onda è mostrato dalla figura 146 (2).

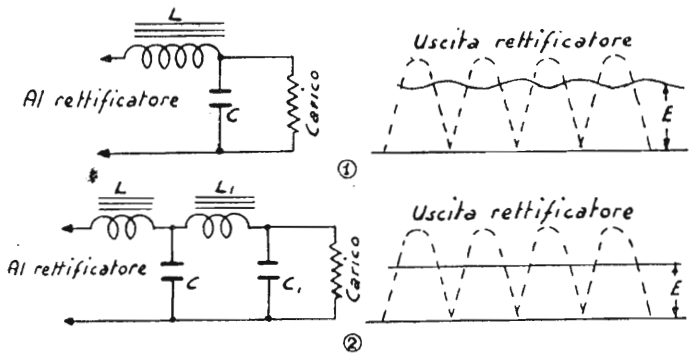


FIG. 146 - Filtri a singola sezione e a due sezioni con bobina d'ingresso, mostranti le forme d'onda d'ingresso e d'uscita.

g) È stato mostrato che i filtri a condensatore d'ingresso ed a bobina d'ingresso hanno lo stesso effetto sulle componenti alternative fluttuanti dell'onda di uscita del rettificatore. Tuttavia essi posseggono caratteristiche molto diverse sotto un altro aspetto. Il primo condensatore del sistema filtro a condensatore d'ingresso è caricato a circa la tensione di punta della tensione alternativa rettificata e non si scarica completamente fra le alternanze o pul-

sazioni. Il condensatore rimane caricato quasi a questa tensione di punta, mantenendo pertanto la tensione d'uscita del sistema filtro ad un valore paragonabile alla sua tensione d'ingresso di punta. Per piccole correnti di carica, la tensione d'uscita del filtro sarà molto vicina alla tensione di punta della tensione alternativa rettificata. Tuttavia la tensione di uscita cade rapidamente con l'aumentare della corrente di carico. Un filtro a condensatore d'ingresso sarà soddisfacente soltanto nelle applicazioni in cui le condizioni di carico sono ragionevolmente costanti, tali come in un amplificatore in classe *A*, dove il valore medio della corrente erogata dall'alimentatore di potenza non varia. La tensione di uscita di un alimentatore di potenza che impiega un filtro con bobina d'ingresso sarà approssimativamente uguale al valore medio della tensione alternativa rettificata. Questo tipo di filtro trova il suo più grande impiego dove deve essere mantenuta una tensione costante sotto variabili condizioni di carico, come nel caso degli amplificatori in classe *B*.

90. Resistori zavorra.

Nel maggior numero di alimentatori di potenza, il tubo rettificatore è del tipo a filamento che incomincia a far passare corrente immediatamente dopo che esso è inserito. I tubi usati nei ricevitori e negli amplificatori, per contro, sono usualmente del tipo a riscaldamento indiretto, e non incominciano a funzionare nell'istante in cui è applicata l'alta tensione.

Un resistore zavorra pone immediatamente un carico sull'alimentatore di potenza impedendo così la formazione di qualunque alta tensione attraverso il complesso. Negli alimentatori di potenza dei trasmettitori, questi resistori servono quale dispositivo per mantenere una tensione più costante quando il trasmettitore è manipolato. Il resistore zavorra serve pure a scaricare i condensatori nell'alimentatore di potenza dopo che esso è stato disinserito, eliminando così qualunque pericolo, dovuto all'alta tensione, per l'operatore che potrebbe essere chiamato a riparare l'apparato.

91. Divisori di tensione.

a) I vari tubi e i differenti elementi circuitali richiedono tensioni differenti, che possono essere ottenute a mezzo di un divisore di tensione connesso ai terminali d'uscita del filtro. Questo divisore di tensione serve pure come resistore di zavorra, con una corrente di dispersione ugualmente dell'ordine dal 10 al 15% della corrente totale erogata dall'alimentatore di potenza. Le correnti che fluiscono attraverso il resistore ed il valore della resistenza fra le prese determinano la ripartizione di tensione lungo il divisore di tensione. Per poter progettare l'alimentatore di potenza ed il divisore di tensione, occorre prima determinare le tensioni e le correnti necessarie per il carico. Qualunque variazione della corrente di carica erogata da una qualunque presa del divisore di tensione inciderà sulla distribuzione di tensione lungo l'intero sistema del divisore di tensione.

b) Un sistema divisore di tensione tipico, di quelli usati nei ricevitori moderni, è mostrato dalla figura 147. Il divisore di tensione è connesso ai terminali di uscita *A* ed *E*, del condensatore d'ingresso del filtro, con prese nei punti *B*, *C* e *D* appropriatamente ubicate per poter fornire le tensioni mostrate dal diagramma. Le prese *A*, *B* e *C* sono ad una tensione positiva rispetto alla presa *D*, che è a massa. Il terminale in *E* è negativo rispetto a *D*, e qualunque presa lungo il resistore fra *D* ed *E* sarà negativa rispetto alla massa. In questo esempio la tensione massima di placca richiesta è di 300 volt per i tubi di potenza d'uscita e la massima tensione negativa è di 25 volt per la polarizzazione delle griglie di questi tubi. La tensione totale dell'alimentatore di potenza deve essere pertanto di 325 volt. La corrente totale erogata per tutti i tubi è di 85 milliampère. A questa deve essere aggiunta la corrente di dispersione di 15 milliampère, ottenendosi così viva una corrente totale di 100 milliampère richiesta dall'alimentatore di potenza. La figura 147 mostra questa corrente totale di 100 milliampère che fluisce dal filtro al punto *A* del divisore di tensione, dove essa allora si divide: 60 milliampère vanno

al circuito di placca dei tubi di uscita ed i rimanenti 40 milliampère, passando attraverso il resistore R_1 vanno al punto B. La caduta di tensione attraverso R_1, necessaria ad abbassare la tensione d'uscita del filtro a 200 volt, per le placche dei tubi amplificatori, deve essere di 100 volt. Quindi, per calcolare il valore di R_1, occorre dividere la caduta richiesta (100) per la corrente che attraversa R_1 la quale è, in questo esempio, di 40 milliampère. Pertanto R_1 stabilisce una tensione di 200 volt fra i punti B e D

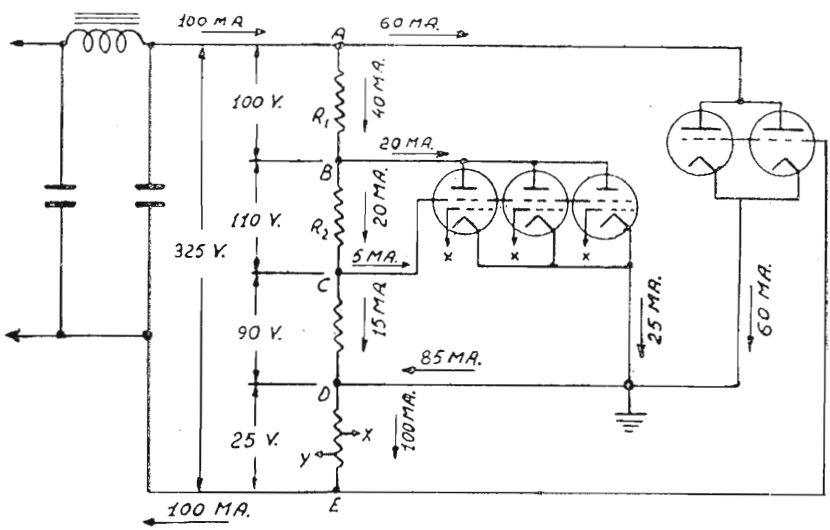


FIG. 147 – Circuito divisore di tensione per radioricevitore.

del divisore di tensione. Per la legge di Ohm: $R_1 = E/I$, ossia 100/0,04 = 2500 ohm.

In B la corrente si divide in modo che 20 milliampère sono erogati ai tubi amplificatori e 20 milliampère continuano attraverso il resistore R_2 al terminale C. Il resistore R_2 deve abbassare la tensione da 200 a 90 volt con 20 milliampère che lo attraversano. Questa è una caduta di tensione di 110 volt e dalla legge di Ohm si trova che R_2 deve essere di 5500 ohm. In C la corrente erogata si divide ancora in modo che 5 milliampère siano liberati alla griglia schermo ed al circuito di placca dell'oscillatore. I rimanenti 15 milliampère, che sono la corrente per il dispersore, pas-

sano da C a D, provocando una caduta di tensione di 90 volt fra C e la presa a massa D. La resistenza del resistore fra C e D, calcolata ancora a mezzo della legge di Ohm, è di 6000 ohm. La polarizzazione per i tubi amplificatori a radio ed audiofrequenza può essere ottenuta dalle prese in X ed Y opportunamente ubicate fra i punti D ed E, oppure a mezzo dei resistori in serie con i circuiti catodici. La dissipazione di potenza per ciascun resistore, può essere calcolata per mezzo delle formule $I^2.R$ oppure $E.I$. L'ultima formula è preferibile in questo esempio particolare, poichè le tensioni attraverso ciascun resistore sono state già stabilite. I resistori usati debbono essere dell'appropriato wattaggio per poter trasportare sicuramente la corrente che deve fluire in essi senza provocare indesiderati aumenti di temperatura. È stato trovato che i resistori mantengono i loro valori ed hanno una lunga vita se essi si fanno lavorare a circa il 50 per cento della loro prestabilita potenza di dissipazione. La potenza spesa nel resistore R_1 è di 4 watt; pertanto esso dovrebbe essere marcato per una potenza di dissipazione di 8 watt; in conformità alla regola sopra data, un resistore di 10 watt è quello che nel campionario commerciale ha il valore che più si avvicina a quello calcolato e pertanto è quello che si dovrà scegliere.

92. Alimentatori di potenza elettromeccanici.

Gli equipaggiamenti di potenza elettromeccanici comprendono gruppi elettrogeneratori azionati da motori a benzina, od a pedale od a mano, dinamotori e sistemi a vibratore. I dinamotori e i vibratori sono usati nei circuiti radio in cui è necessario convertire una tensione continua di valore basso (tale come quella fornita da una comune batteria di accumulatori) nelle tensioni continue più alte richieste per il funzionamento dei ricevitori e dei trasmettitori.

93. Dinamotori.

a) Un dinamotore è usato per convertire una tensione continua di valore basso in una tensione continua di valore alto, sod-

disfacendo così ai requisiti dei ricevitori e trasmettitori radio. Essa è essenzialmente composta da un motore e da un generatore montati o avvolti su una carcassa comune. Un unico avvolgimento di campo è usato per fornire il campo magnetico sia per la parte motore che per la parte generatore. L'armatura consiste in due avvolgimenti, entrambi avvolti sullo stesso nucleo d'armatura, ma connessi a commutatori separati. Un avvolgimento serve a produrre la coppia motrice quando è alimentato da una tensione continua di valore basso. L'altro avvolgimento genera un'alta tensione quando ruota entro il campo magnetico.

b) Le caratteristiche funzionali di un dinamotore sono mostrate dalla figura 148. Le linee marcate con segno più forte

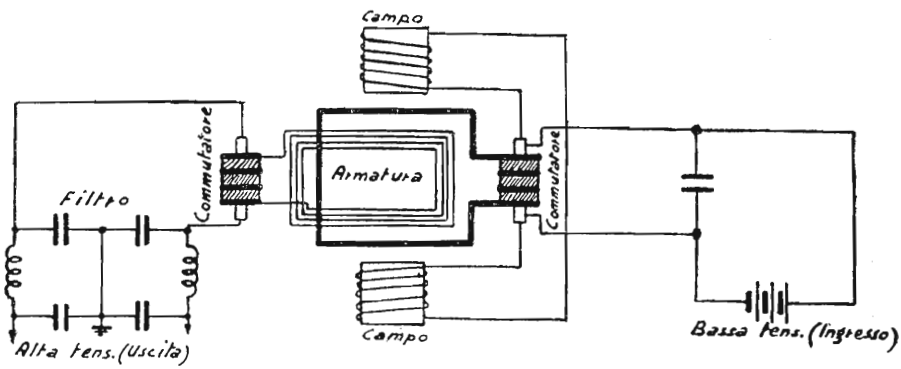


FIG. 148 – Diagramma funzionale di un dinamotore (survoltore).

indicano il circuito del motore a bassa tensione. La corrente proveniente dalla batteria fluisce attraverso le bobine di campo e l'avvolgimento d'armatura del motore, creando un campo magnetico intorno ad entrambi gli avvolgimenti. Questi campi magnetici si respingono fra di loro provocando la rotazione dell'armatura. Poichè in questo motore gli avvolgimenti d'armatura e di campo sono in parallelo, esso costituisce un motore eccitato in parallelo. Con questo tipo di avvolgimento la velocità del motore rimane abbastanza costante quando intervengono variazioni nel carico posto su di esso dal generatore. L'avvolgimento d'alta ten-

sione, rappresentato con linee sottili fra gli avvolgimenti di campo (fig. 148), è avvolto sulla stessa armatura, cosicchè esso ruota insieme all'avvolgimento del motore. Quando esso è in rotazione, taglia le linee di forza del campo comune e genera una tensione che è raccolta dalle spazzole sul commutatore ad alta tensione. Più grande è il numero di spire nell'avvolgimento d'armatura ad alta tensione e più grande sarà la tensione d'uscita.

c) I filtri sono posti sui conduttori dell'alta tensione per non far passare le correnti ad alta frequenza prodotte dallo scintillamento fra le spazzole ed i segmenti del commutatore, in modo da non produrre interferenze sulla radioricezione.

Un filtro consiste in una combinazione di bobine d'arresto per la radiofrequenza e di condensatori. Lo scopo delle bobine d'arresto è di impedire la circolazione dell'energia a radiofrequenza attraverso i circuiti esterni. I condensatori danno passaggio a massa a questa energia. Qualche sistema aggiuntivo di filtraggio audio deve pure essere previsto per evitare le fluttuazioni dovute al commutatore. Questo usualmente consisterà in induttori serie di valori comparativamente alti e di un condensatore parallelo. Le caratteristiche funzionali di un filtro audio sono analoghe, come azione filtrante, a quelle discusse per gli alimentatori di potenza a corrente alternata.

d) Il circuito di un convertitore tipico è mostrato dalla figura 149. Il filtro 1 è una unità a radiofrequenza per eliminare qualunque immissione di energia a radiofrequenza nel circuito a bassa tensione. *M* è la sezione motore del dinamotore, connessa alla batteria, per fornire la coppia motrice. *G* è il lato generatore del dinamometro e l'uscita proveniente da questa unità è erogata attraverso le bobine di arresto 2, 3 e 4. Le bobine 2 e 3 bloccano la radiofrequenza; la bobina 4 è provvista di nucleo di ferro. In combinazione con i condensatori, posti trasversalmente alla linea, servono ad impedire il passaggio di energia a radiofrequenza e a ridurre il « ripple » del commutatore nella tensione di uscita.

e) La manutenzione delle convertitrici è importante per il loro efficiente funzionamento.

1) Se la convertitrice si ferma, vi può essere un'interruzione nel circuito d'armatura del motore o del campo.

2) Se il motore gira ma non è generata l'alta tensione, il difetto è nella sezione generatore dell'armatura. Occorre controllare i fusibili nel circuito alta tensione.

3) Le spazzole ed i commutatori possono dare inconvenienti se sono imbrattati di olio o di sporcizia. Le spazzole consumate debbono essere sostituite.

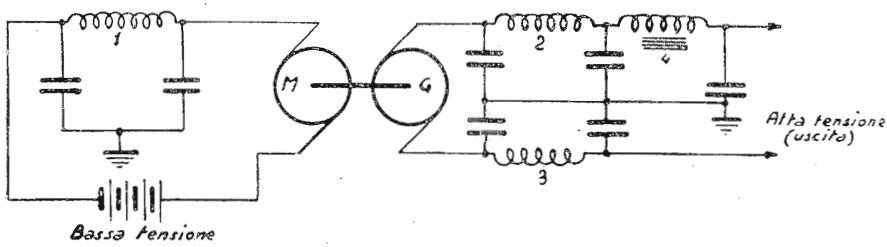


FIG. 149 - Diagramma di un alimentatore di potenza a dinamotore e filtro.

4) Un eccessivo scintillamento nel commutatore è un'indicazione che esso è difettoso. Quando la mica sporge rispetto ai segmenti di rame del commutatore, per l'eccessivo logorio di questi ultimi, occorre tagliare la mica al di sotto del livello della superficie del rame e rettificare al tornio. Non si deve usare carta smeriglio perchè la sua polvere cortocircuiterebbe i segmenti del commutatore.

94. Alimentatori a vibratore.

a) Questo tipo di alimentatore è usato per ottenere un'alta tensione continua da una sorgente di tensione continua di valore relativamente basso. Un alimentatore di potenza a vibratore è molto più efficiente di una convertitrice ed è quindi usato estesamente. Un semplice alimentatore di potenza a vibratore è illustrato dalla figura 150; esso non è che un semplice interruttore simile sotto molti aspetti ad un comune cicalino per campanelli. La corrente continua pulsante è usata per alimentare l'avvolgi-

mento primario di un trasformatore che a sua volta induce una tensione alternativa nel secondario. Il rapporto delle spire degli avvolgimenti del trasformatore è proporzionato per fornire la desiderata tensione d'uscita. Riferendoci alla figura 150, quando è chiuso l'interruttore fluirà una corrente attraverso il primario del trasformatore, attraverserà l'elettromagnete e quindi ritornerà

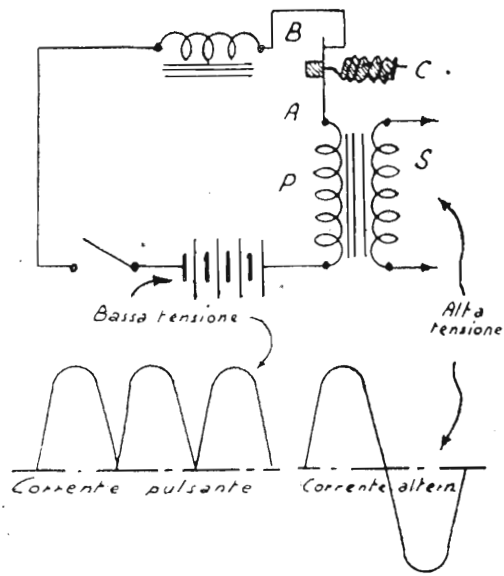


FIG. 150 - Sistema alimentatore di potenza a vibratore.

alla batteria. La corrente, nel passare attraverso l'elettromagnete, creerà un campo magnetico che attirerà l'armatura *A*. Questa azione interrompe il circuito in *B*. Non appena è interrotto il circuito l'elettromagnete rilascerà l'armatura che, sotto l'azione della molla *C* ritornerà nella sua posizione di partenza. In questa ultima posizione, il contatto *B* chiude ancora il circuito ed il procedimento si ripete. In questo modo fluisce attraverso il primario del trasformatore una corrente unidirezionale pulsante che induce un'alta tensione nell'avvolgimento del secondario. La tensione d'uscita del secondario è applicata ad un normale rettificatore

provvisto di filtro che trasforma la corrente alternata in corrente continua ad alta tensione.

b) Un circuito più completo di un tipico alimentatore di potenza a vibratore è mostrato dalla figura 151. In questo circuito è ottenuta una migliore forma d'onda nella tensione d'uscita impiegando un avvolgimento primario del trasformatore munito di presa centrale. Quando è chiuso il circuito primario, la lamina vibrante *D* è spostata in basso dall'elettromagnete *A* fino a che

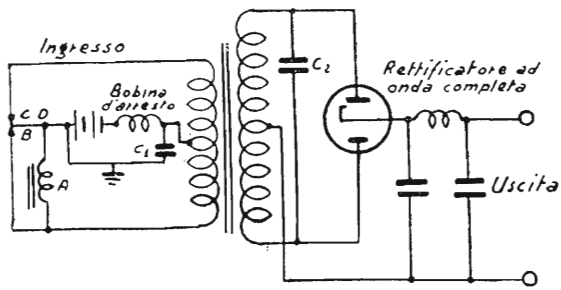


FIG. 151 - Alimentatore a vibratore tipico e sistema filtro.

essa chiude il contatto *B*. Quando è chiuso questo contatto, un impulso di corrente fluisce attraverso la metà più bassa dell'avvolgimento primario del trasformatore. Nello stesso tempo l'elettromagnete è cortocircuitato dal contatto *B*; così l'elettromagnete non attrae più la lamina vibrante che, per l'azione di una molla, è riportata indietro al contatto *C*. Questo contatto completa il circuito primario attraverso la metà superiore dell'avvolgimento primario e pertanto fluisce un altro impulso di corrente. Non appena la lamina rompe la connessione in *B*, la corrente proveniente dalla batteria può fluire ancora attraverso l'elettromagnete. Questo allora attira in basso nuovamente la lamina, ripetendo l'intero processo. La tensione che appare ai capi del secondario sarà alternata. Il condensatore C_2 smorza le sovratensioni. Per impedire interferenze a radiofrequenze provocate dallo scintillamento nei punti *B* e *C*, sono posti nel circuito una bobina filtro d'arresto

RFC ed un condensatore C_1. L'unità intera è racchiusa in una scatola metallica per schermare i complessi vicini da qualunque interferenza provocata dal vibratore.

95. Regolatori di tensione.

a) Per certi scopi, come ad esempio per l'alimentazione di un oscillatore autocontrollato in un trasmettitore o per l'oscillatore ad alta frequenza in un ricevitore a supereterodina deve essere mantenuta una tensione costante. Un metodo soddisfacente per compiere ciò fa uso di tubi a gas regolatori di tensione. Questi tubi sono usati per essere impiegati con tensioni diverse e sono progettati per mantenere una caduta di tensione costante attraverso i loro terminali quando sono connessi come è indicato dalla figura 152 (1).

b) Il funzionamento dei tubi regolatori di tensione è relativamente semplice. Quando la tensione ai capi del tubo tende ad aumentare, la resistenza interna del tubo decresce; così passa più corrente attraverso il resistore di limitazione serie e la tensione attraverso il tubo è mantenuta ad un livello costante. Inversamente, se la tensione ai capi del tubo tende a diminuire, la resistenza interna aumenta, passa meno corrente attraverso il resistore di limitazione serie e quindi la tensione attraverso il tubo rimane ancora costante. La tensione di partenza richiesta per portare il tubo di conduzione è un po' più alta della tensione di funzionamento. La corrente necessaria per mantenere il tubo in funzione è usualmente di circa 5 milliampère e la massima corrente che il tubo può sopportare senza danneggiarsi è di circa 30 milliampère. Questi tubi possono essere impiegati in serie per dare tensioni più alte. Il relativo circuito è indicato dalla figura 152 (2).

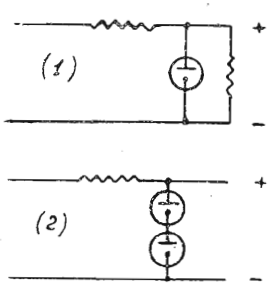


FIG. 152 - Circuito di regolatori di tensione.

CAPITOLO X

OSCILLATORI CON TUBI A VUOTO

96. Oscillatori con tubi a vuoto.

a) Gli oscillatori sono una parte necessaria di ogni trasmettitore e di ogni ricevitore a supereterodina. Inoltre, essi sono usati nei generatori di segnali, negli ondametri ad eterodina ed in altri strumenti usati per il controllo e la regolazione degli equipaggiamenti radio. Poichè gli oscillatori sono usati per molti scopi e con molte gamme di frequenza, sono stati realizzati diversi circuiti per oscillatori. Tuttavia il funzionamento di tutti gli oscillatori con tubi a vuoto è fondamentalmente lo stesso.

b) Un tubo a vuoto può essere portato ad oscillare, ossia a generare potenza in corrente alternata, per effetto della sua capacità come amplificatore. Per fare oscillare un amplificatore, occorre accoppiare il circuito di uscita (placca) al circuito d'ingresso (griglia) in modo tale che una parte della tensione d'uscita è riportata all'ingresso ed applicata alla griglia. Questo segnale è amplificato e, quando è accresciuto oltre un certo punto critico, si verificano delle oscillazioni persistenti.

c) Per produrre in un circuito delle oscillazioni, debbono essere soddisfatte due condizioni. Primo, è necessario che il ritorno di tensione r. f. dal circuito di placca a quello di griglia avvenga in modo tale da rinforzare la tensione sulla griglia; questa è chiamata *rigenerazione positiva*. Secondo, è necessario che la reazione sia in grado di trasferire energia alla griglia in misura sufficiente per compensare ed anche superare le perdite nel circuito accordato. La rigenerazione può essere effettuata a mezzo di accoppiamento induttivo, capacitivo o resistivo. In generale, la frequenza delle oscillazioni prodotte in un circuito dipende dai valori di induttanza e capacità del circuito. Pertanto, impiegando bobine e condensatori appropriati, è possibile generare oscillazioni che possono

estendersi dalle più basse audiofrequenze alle più alte radiofrequenze. Il tubo a vuoto per se stesso non oscilla: le oscillazioni si originano effettivamente nel circuito accordato. Il tubo a vuoto funziona come una valvola elettrica, che controlla automaticamente la cessione di energia in questo circuito per mantenere le oscillazioni.

97. Principio delle oscillazioni.

a) Le oscillazioni alternative possono essere prodotte in un semplice circuito accordato parallelo, per effetto dell'azione caratteristica degli elementi di questo circuito. Il modo secondo cui sono prodotte le oscillazioni può essere meglio compreso da uno studio del flusso elettronico in un tale circuito chiuso.

b) Un circuito oscillante elementare è mostrato nella figura 153. Assumiamo che il commutatore S sia portato a sinistra, connettendo il condensatore C alla batteria. Gli elettroni fluiranno dalla placca superiore alla placca inferiore del condensatore, rendendo così negativa la placca inferiore. Se il commutatore è allora portato a destra, gli elettroni in eccesso che sono stati accumulati sulla placca inferiore ritorneranno alla placca superiore attraverso l'induttore L, originando così un flusso di corrente e quindi un campo magnetico intorno ad L. Quando gli elettroni in eccesso hanno abbandonato la placca inferiore, le cariche su ciascuna placca saranno uguali. Il flusso di elettroni tende a cessare, provocando l'inizio della caduta del campo magnetico. Nel diminuire, il campo induce una tensione ai capi di L che facilita il flusso di elettroni verso la placca superiore, poichè un campo magnetico agisce cercando di impedire qualunque variazione nel flusso di elettroni. Ciò fa sì che un numero maggiore di elettroni di quelli in eccesso lasciano la placca inferiore e si accumulino sulla placca superiore rendendo quest'ultima negativa rispetto alla prima. Quando il campo intorno ad L è completamente cessato, cessa pure il flusso di elettroni verso la placca superiore. Gli elettroni che sono stati accumulati sulla placca superiore fluiscono ora in-

dietro verso la placca inferiore, creando ancora un campo magnetico che si espande intorno ad L. Quando C è scaricato ed il flusso di elettroni tende a cessare, il campo magnetico inizia a diminuire. Ciò aiuta il flusso di elettroni verso la placca inferiore rendendola negativa rispetto a quella superiore. Così, la corrente oscilla indietro e avanti, caricando alternativamente C, prima in una direzione e dopo nell'altra, producendo quindi una tensione alternativa ai capi dell'intero circuito accordato. La corrente oscillante od alternativa ha una certa frequenza che è determinata dall'intervallo di tempo richiesto per la carica e la scarica del condensatore C attraverso l'induttore L. Più grandi sono i valori di C ed L, maggiore sarà l'intervallo di tempo richiesto e quindi più bassa la frequenza.

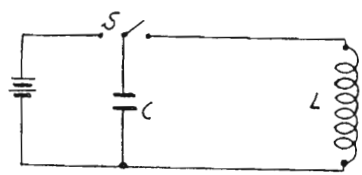


Fig. 153 - Un circuito oscillante elementare.

c) Se il circuito oscillante non ha resistenza non vi sarà nessuna opposizione al flusso della corrente oscillante e le oscillazioni continueranno indefinitivamente con la stessa ampiezza. Tuttavia, poichè i circuiti ed elementi di circuito hanno qualche resistenza, una parte dell'energia della corrente oscillante è trasformata in calore, che rappresenta la perdita di energia. Pertanto, in ciascun ciclo successivo, l'ampiezza della corrente oscillante decresce ed eventualmente la corrente cessa di fluire. Più piccolo è il valore della resistenza del circuito, più grande sarà il numero di cicli consecutivi per un singolo impulso di energia; ma se la resistenza del circuito è troppo grande, le oscillazioni non possono avvenire. Questo effetto della resistenza del circuito oscillante è mostrato dalla figura 154.

d) Se un tubo a vuoto è posto nel semplice circuito di figura 153 in sostituzione del commutatore, l'energia necessaria per mantenere le oscillazioni può essere fornita in modo più conveniente al circuito «serbatoio». Questa energia deve essere fornita al tempo giusto ed immessa nella griglia del tubo a vuoto, come mostrato dalla figura 155 (1). La frequenza di questo segnale deve essere la

stessa della frequenza di risonanza del circuito oscillante serbatoio. Il circuito di figura 155 (1) funziona come un amplificatore e pertanto l'uscita nel lato placca del circuito è più grande dell'ingresso.

e) Se un'altra bobina, *L*, è piazzata nel circuito, come mostrato dalla figura 155 (2), sarà indotta una tensione in questa bobina. Questo voltaggio può adesso essere applicato alla griglia e

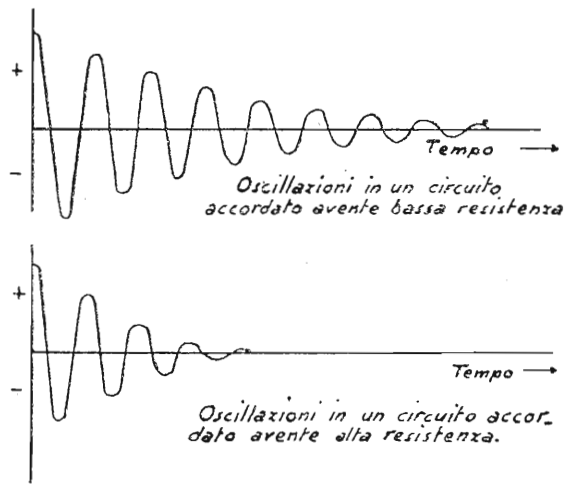


FIG. 154 – Effetto della resistenza sulle oscillazioni.

pertanto non vi sarà necessità di un segnale esterno. L'oscillatore ora si sostiene da sè e continuerà ad oscillare fino a che è connessa l'alimentazione della tensione continua. La frequenza è determinata dai valori di *L* e *C*. Se il circuito fosse prima aperto, facendo cessare le oscillazioni, e dopo fosse nuovamente chiuso, esso incomincerebbe nuovamente ad oscillare per moto proprio, giacchè qualche variazione occasionale, per quanto piccola, sarebbe rapidamente amplificata ad un punto tale da far iniziare le oscillazioni.

f) È stato mostrato che un oscillatore è qualche cosa di simile ad un amplificatore, in cui una parte dell'uscita amplificata è riportata indietro dal circuito di placca al circuito di griglia. Nella

figura 155 la rigenerazione è effettuata a mezzo di accoppiamento induttivo, ma può essere usata qualunque forma di accoppiamento, capacitivo o resistivo. È importante che la tensione rimandata all'indietro abbia fase (polarità) ed ampiezza corretta.

g) I circuiti oscillatori con tubi a vuoto operano usualmente con un'alta tensione negativa di polarizzazione di griglia, che permette alla corrente di placca di fluire soltanto durante piccola parte del ciclo in cui la tensione alternativa di griglia è vicina al suo valore positivo di cresta. Inoltre, è permesso alla griglia di assorbire corrente. L'energia per questa corrente di griglia deve essere fornita dalla corrente oscillante dell' induttanza–capacità del circuito serbatoio. Questo svantaggio di supplire alle perdite del circuito di griglia a mezzo della corrente oscillante è, tuttavia, più che bilanciato dagli alti valori di corrente di placca che ne risultano e dall'accresciuto rendimento nella conversione dell'energia a corrente continua in quella a corrente alternata.

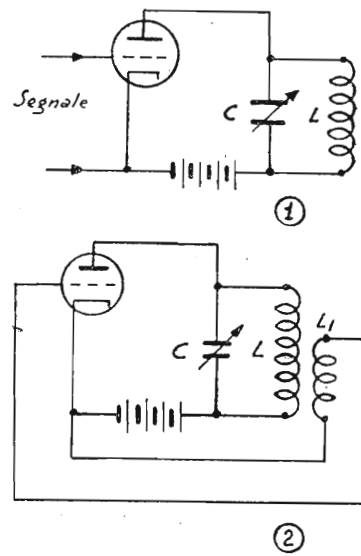


FIG. 155 - Un oscillatore semplice.

h) Gli oscillatori con tubi a vuoto possono essere classificati in due classi principali: gli *oscillatori autocontrollati* (pure chiamati oscillatori autoeccitati) e gli *oscillatori controllati a cristallo.*

98. Frequenza delle oscillazioni.

La frequenza a cui si verificano le oscillazioni in un oscillatore con tubo a vuoto è determinata dalla frequenza di risonanza del circuito accordato. La frequenza approssimata delle oscillazioni può essere determinata con la relazione di Lord Kelvin:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\,C}}$$

dove f = cicli per secondo (frequenza approssimata delle oscillazioni);
L = henry;
C = farad.

Dalla semplice analisi della formula, risulta che diminuendo qualunque fattore nel denominatore (l'altro rimanendo costante) aumenta il valore della frazione e quindi della frequenza. Inversamente aumentando qualunque fattore del denominatore (l'altro fattore rimanendo costante), diminuisce il valore della frazione e quindi della frequenza. Quindi, diminuendo L o C aumenta la frequenza; accrescendo L o C, diminuisce la frequenza delle oscillazioni.

Esempio: Determinare la frequenza delle oscillazioni nel circuito di figura 155 (2) quando $L = 16$ microhenry e $C = 100$ micromicrofarad. Convertendo nelle unità appropriate per la formula:

$$16\ \mu h = 0{,}000016 \text{ henry}$$
$$100\ \mu\mu f = 0{,}000.000.000.1 \text{ farad}$$

Abbiamo:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\,C}}$$

$$= \frac{1}{6{,}28 \times \sqrt{0{,}000016 \times 0{,}000.000.000.1}} = \frac{1}{6{,}28 \times 0{,}000.000.04} =$$

= 3.980.895 cicli per secondo, frequenza approssimata.

99. Oscillatori autoeccitati.

a) L'oscillatore di figura 156 con accoppiamento a trasformatore (oscillatore Meissner), è il tipo più semplice di circuito oscillatore. La bobina L ed il condensatore C formano il circuito accordato di griglia. L'alimentazione di ritorno dalla placca alla griglia è effettuata a mezzo dell'accoppiamento induttivo fra la bobina L_p. di placca e la bobina L di griglia. La frequenza delle oscillazioni è

uguale alla frequenza di risonanza del circuito accordato $L\ C$. Il flusso della corrente di griglia attraverso il resistore R (dispersore di griglia) fornisce l'appropriata tensione negativa di polarizzazione di griglia. Il condensatore C_G cortocircuita le correnti a radiofrequenza ai capi all'alta resistenza R ed aiuta a mantenere costante la polarizzazione. I valori di R e C_G sono scelti in modo che la griglia sia polarizzata negativamente in considerevole misura rispetto al catodo. Praticamente tutti gli oscillatori impiegano la polarizzazione con dispersore di griglia perchè li rende più stabili di quelli che impiegano polarizzazione separata. Il condensatore C_B serve per far passare la radiofrequenza attorno alla batteria di placca E_B. Quando un circuito oscillatore è in oscillazione, vi sarà un flusso di corrente di griglia durante una parte del ciclo. Così, una prova per verificare l'appropriato funzionamento di un oscillatore consiste nella misura della corrente di griglia o della tensione di polarizzazione di griglia. Se questi valori sono zero, il circuito non oscilla. Nel misurare la tensione di griglia deve essere usato un voltmetro ad alta resistenza, come ad esempio un voltmetro a valvola: altrimenti, si avrebbero indicazioni errate.

b) Il circuito di figura 156 può essere modificato leggermente come da figura 157. Quando ciò è fatto si ottiene il circuito dell'*oscillatore Hartley* alimentato in serie. In questo circuito è usata una sola bobina, una parte della quale si trova nel circuito di placca mentre la rimanente parte si trova nel circuito di griglia. Il condensatore C è connesso ai capi dell'intera bobina. La frequenza risonante è determinata dai valori di C, L e L_P. La rigenerazione è effettuata a mezzo dell'accoppiamento induttivo fra L e L_p. L'importo della reazione può essere controllato variando la posizione della presa catodica. Si dice che questo circuito è alimentato in serie perchè la corrente continua di placca fluisce attraverso la bobina di placca L_P che è in serie con la tensione continua di placca.

c) In qualche caso è desiderabile disporre il circuito in modo che la corrente di placca non attraversi la bobina di placca, evitando qualunque possibilità di contatto tra l'alta tensione di placca

con la bobina di placca ed il condensatore. Questo può essere fatto usando l'alimentazione in parallelo. Un oscillatore Hartley alimentato in parallelo è mostrato dalla figura 158. Il condensatore C_P consente il flusso della corrente alternata nel circuito accordato, ma blocca la corrente continua ed impedisce alla bobina di corto-

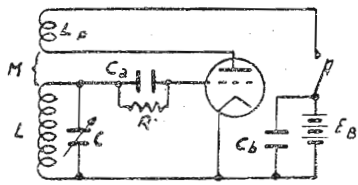


FIG. 156 – Oscillatore con accoppiamento induttivo fra i circuiti di placca e di griglia.

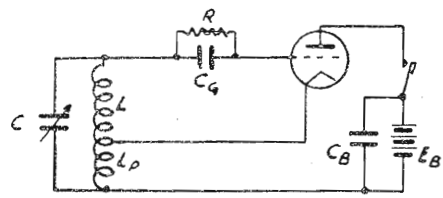


FIG. 157 – Oscillatore Hartley alimentato-serie.

circuitare la batteria. Una bobina d'arresto per la radiofrequenza *Rfc* impedisce alla batteria di cortocircuitare la corrente alternata.

d) L'*oscillatore Colpitts* (fig. 159), è essenzialmente lo stesso circuito di quello Hartley, con l'eccezione che un paio di condensatori in serie, C_1 e C_2, sono usati sul lato della presa catodica. Questo tipo di reazione è chiamata reazione capacitiva. L'accordo è usualmente effettuato variando l'induttanza di L ed un vario-

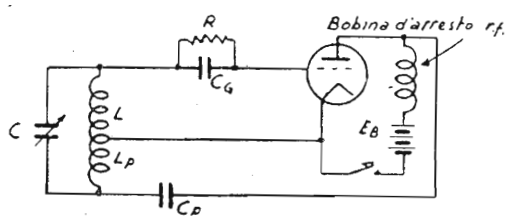


FIG. 158 – Oscillatore Hartley alimentato-parallelo.

metro è generalmente usato per questo scopo. Tuttavia, la bobina potrebbe essere fissa e l'accordo potrebbe essere variato a mezzo dei condensatori C_1 e C_2 che, in questo caso, dovrebbero essere variabili e solidali ad uno stesso asse di rotazione. Poichè il catodo è connesso al punto di mezzo dei due condensatori, non vi è cam-

mino per la corrente continua attraverso al circuito oscillante; pertanto deve essere usata l'alimentazione in parallelo. Il resistore per la polarizzazione di griglia R deve essere connesso direttamente al catodo per permettere il ritorno al catodo del flusso della corrente continua di griglia che produce la polarizzazione.

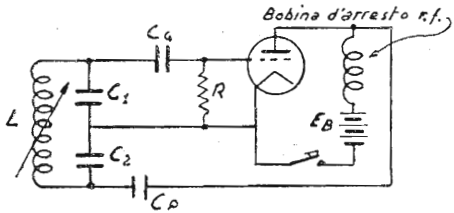


FIG. 159 - Oscillatore Colpitts.

e) L'oscillatore a placca accordata e a griglia accordata, mostrato dalla figura 160, ha un circuito accordato sia nel circuito di placca che in quello di griglia. La reazione fra placca e griglia, necessaria per sostenere le oscillazioni, è ottenuta a mezzo della capacità infraelettrodica placca–griglia. Sia il circuito di placca che quello di griglia sono accordati approssimativamente alla stessa frequenza.

f) Un circuito oscillatorio è usualmente richiesto soltanto per controllare la frequenza, e non per erogare un importo apprezza-

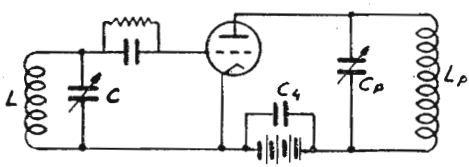


FIG. 160 - Oscillatore a circuito di placca accordato e a circuito di griglia accordato.

bile di potenza. La potenza è sviluppata a mezzo di amplificazione nei circuiti successivi, dove le variazioni di carico hanno un effetto trascurabile sulla frequenza. Ciò è discusso in dettaglio nei paragrafi 102 e 103. L'oscillatore E.C.O. ad accoppiamento elettronico combina in un solo tubo sia le funzioni di oscillatore che di ampli-

ficatore di potenza. Un circuito tipico che impiega un oscillatore ad accoppiamento elettronico è mostrato dalla figura 161. Il catodo, la griglia controllo e la griglia schermo formano un oscillatore Hartley alimentato in serie avente L C come circuito oscillante. Lo schermo del tubo agisce come la placca del circuito oscillatore Hartley. Il condensatore C_s cortocircuita la radiofrequenza attorno alla batteria e pone lo schermo a potenziale di massa per quanto riguarda la radiofrequenza (il terminale negativo della batteria essendo considerato a massa). La connessione di massa serve allora quale ritorno del circuito per l'energia a radiofrequenza dallo schermo al circuito oscillante L C. Il circuito d'uscita L_p C_p è connesso alla placca. Poichè il flusso elettronico è il mezzo di accoppiamento fra l'oscillatore ed il carico e poichè lo schermo che è a potenziale di massa per la radiofrequenza, serve come uno schermo fra i circuiti, questo oscillatore è molto stabile e le variazioni di carico hanno piccolo effetto sulla variazione di frequenza. Un altro fatto che aiuta la stabilità dell'oscillatore ad accoppiamento elettronico è dato dal fatto che un aumento della tensione di schermo farà decrescere la frequenza. Pertanto, regolando opportunamente la posizione della presa sul resistore R, che è il divisore di tensione che alimenta la tensione di schermo, la frequenza dell'oscillatore ad accoppiamento elettronico può essere resa sostanzialmente indipendente dalle variazioni della tensione di alimentazione. Le variazioni di tensioni provocherebbero uno spostamento di frequenza nei tipi di oscillatori precedentemente discussi. Nella figura 161 L_p e C_p formano un circuito oscillante accordato sulla placca o circuito di uscita. Quando il circuito d'uscita è accordato ad una frequenza che è un multiplo della frequenza naturale dell'oscillatore, questo circuito consente una moltiplicazione di frequenza. Il multiplo della frequenza originale è chiamato la seconda armonica se è esso

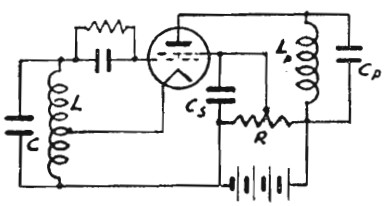


Fig. 161 - Oscillatore ad accoppiamento elettronico.

a frequenza doppia di quella originale, e la terza armonica se ha frequenza tripla di quella originale.

g) La frequenza delle oscillazioni generata dagli oscillatori precedentemente discussi risente considerevolmente delle variazioni di carico, delle tensioni di alimentazione e della temperatura. Questa variazione di frequenza è molto piccola negli oscillatori ad accoppiamento elettronico, ma è ancora dannosa in alcuni circuiti radio. Quando il controllo della precisione della frequenza è importante, sono impiegati i circuiti oscillatori controllati a cristallo.

100. Oscillatori controllati a cristallo.

a) Quando è desiderato mantenere la frequenza di un oscillatore ad un certo valore, è usato un oscillatore controllato a cristallo. Il funzionamento di questo oscillatore dipende dall'azione di un cristallo, usualmente di quarzo.

b) Certe sostanze cristalline, come i quarzi, i sali di Rochelle, e la tormalina, hanno una proprietà molto interessante. Se una forza meccanica è applicata ad una di queste sostanze, si sviluppa una tensione. Inversamente, se la sostanza è connessa ad una sorgente di tensione alternata, la sostanza è soggetta a variazioni della sua forma fisica che la fanno vibrare meccanicamente. Questa relazione fra effetti meccanici ed elettrici è conosciuta col nome di *effetto piezoelettrico*. Benchè molte sostanze manifestano proprietà piezoelettriche, il quarzo è quella più conveniente per gli oscillatori a cristallo.

c) I cristalli di quarzo usati nei circuiti oscillatori debbono essere cristalli di quarzo tagliati e lavorati con estrema precisione. Un cristallo di quarzo tipico è quello mostrato dalla figura 162 (2). Le dimensioni per un tale cristallo risonante a 1.000 chilocicli sono approssimativamente di 25,4 × 25,4 × 2.857 millimetri. Il contatto elettrico con le placche del cristallo di quarzo è ottenuto a mezzo di uno speciale contenitore del cristallo, che ha due placche metalliche (fra cui è montato il cristallo) ed un dispositivo a molla che esercita una pressione meccanica sulle placche metalliche. Un

contenitore aperto è mostrato dalla figura 162 (1) ed una vista di cristallo completo con contenitore è data dalla figura 162 (2). Un altro tipo di contenitore per cristallo è mostrato dalla figura 162 (4).

d) La frequenza di risonanza del cristallo, oltre che dalle dimensioni, dipende dal modo secondo cui il cristallo è stato tagliato dal minerale originale. Tre tipi di taglio sono mostrati. dalla figura 163. La temperatura ha un effetto differente su cia-

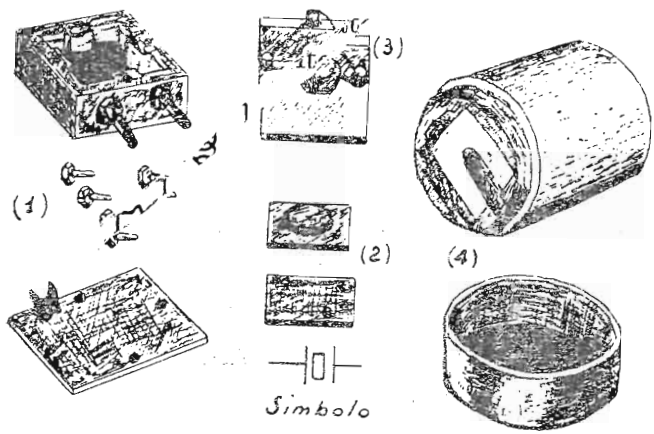


FIG. 162 - Contenitori tipici per cristalli
1. Contenitore aperto.
2. Cristallo lavorato.
3. Cristallo montato sul suo supporto.
4. Contenitore per cristallo.

scuno di questi tagli. Il cristallo a taglio X ha un coefficiente di temperatura negativo; cioè con l'aumentare della temperatura, la frequenza del cristallo diminuisce. Il cristallo a taglio Y ha un coefficiente di temperatura positivo; cioè la frequenza del cristallo aumenta con l'aumentare della temperatura. Sia i cristalli a taglio X che quelli a taglio Y sono stati completamente superati dai cristalli con coefficiente di temperatura zero (o quasi zero), tale come il cristallo a taglio AT.

e) Quando un cristallo comincia a vibrare alla sua frequenza di risonanza, occorre soltanto una piccola forza della stessa

frequenza per ottenere delle vibrazioni di grande ampiezza. La frequenza di risonanza meccanica di un cristallo dipende principalmente dal suo spessore. Quando una tensione alternativa è applicata ad un cristallo che ha la stessa frequenza meccanica della tensione applicata, esso vibrerà ed è necessario applicare soltanto una piccola tensione al cristallo per mantenerlo in vibrazione. A sua volta, il cristallo genererà una grande tensione alla sua frequenza risonante. Se questo cristallo è posto fra la griglia ed il catodo di un tubo a vuoto, ed un piccolo importo di energia è preso dal circuito di placca ed è applicato al cristallo per mantenerlo in vibrazione, il circuito agirà come un oscillatore. La frequenza naturale del cristallo è critica. Ad una frequenza leggermente più alta o più bassa, l'ampiezza delle vibrazioni del cristallo è quasi zero e quando il cristallo cessa di vibrare, esso non produce tensione. Pertanto la frequenza di un oscillatore controllato a cristallo deve essere la stessa di quella del cristallo; altrimenti non oscillerà affatto.

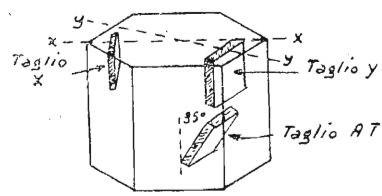


FIG. 163 - Qualche taglio di cristallo.

f) Uno stadio oscillatore controllato a cristallo che usa un triodo è mostrato dalla figura 164. Questo è lo stesso circuito dell'oscillatore a placca accordata ed a griglia accordata, con il cristallo in sostituzione del circuito accordato di griglia. Da ciò si vede che un cristallo è simile ad un circuito risonante parallelo. La reazione ha luogo atrraverso la capacità placca–griglia dentro il tubo a vuoto. Le oscillazioni avvengono alla frequenza di risonanza del cristallo, ed il circuito di placca è accordato approssimativamente a questa frequenza. Il circuito di placca non deve essere accordato esattamente alla frequenza del cristallo, poichè ciò condurrebbe ad un funzionamento instabile, come sarà detto avanti. Durante l'oscillazione, il cristallo vibra alla sua frequenza di risonanza. L'intensità di queste vibrazioni dipende dalla tensione con cui è alimentato. Se la reazione è troppo grande, le vibrazioni possono essere abbastanza forti da danneggiare o rompere il

cristallo. L'impiego di un tetrodo o di un pentodo supera questa difficoltà poichè la capacità placca-griglia, è ridotta dalla griglia schermo. Le oscillazioni saranno tuttora generate, poichè i tetrodi ed i pentodi sono più sensibili dei triodi e richiedono una minore tensione di griglia per funzionare in modo soddisfacente.

g) Un oscillatore controllato a cristallo che impiega un tetrodo è mostrato nella figura 165. Usando un pentodo il circuito sarebbe lo stesso, con l'eccezione che la griglia soppressore sarebbe

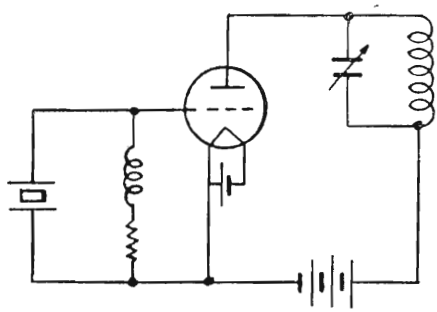


FIG. 164 - Oscillatore controllato a cristallo che impiega un triodo.

connessa al catodo od alla massa. I circuiti simili a quello della figura 165 sono i più soddisfacenti per il controllo di frequenza dei trasmettitori a molti stadî.

h) Nella regolazione di un oscillatore a cristallo, deve essere considerato il fattore relativo alla stabilità del funzionamento. Se nella figura 165 è posto un milliamperometro per corrente continua nel conduttore che dalla batteria porta al circuito accordato di placca, ed il condensatore d'accordo viene fatto variare da un valore basso ad un valore alto (da una frequenza alta ad una frequenza bassa), la corrente di placca diminuirebbe lentamente fino ad un minimo e poi salta istantaneamente ad un massimo, nel cui istante cessa l'oscillazione. Questo procedimento è mostrato nella figura 166. Nel punto *C* il circuito di placca è accordato alla frequenza risonante del cristallo, e l'uscita del circuito serbatoio di placca è un massimo (un minimo di corrente continua indica un

massimo di corrente alternata d'uscita). Il circuito serbatoio oscillante non è stabile se fatto funzionare nel punto C: qualunque leggera variazione nelle condizioni di carico può produrre la cessazione delle oscillazioni. L'oscillatore è usualmente fatto operare nella regione compresa fra A e B sulla curva della corrente di placca (*vedere* fig. 166).

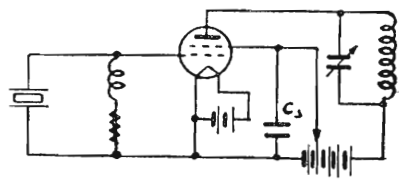


FIG. 165 - Oscillatore controllato a cristallo che impiega un tetrodo.

Un oscillatore a cristallo Pierce è un tipo speciale di oscillatore controllato a cristallo che non richiede controllo d'accordo. Il circuito di un oscillatore Pierce è mostrato nella figura 167. Il cristallo è connesso direttamente dalla placca alla griglia. Il circuito può essere considerato l'equivalente di un oscillatore Colpitts con il circuito accordato sostituito dal cristallo e la divisione di tensione realizzata per mezzo della capacità placca–filamento e griglia–filamento del tubo. Queste capacità sono rappresentate dalle linee tratteggiate di figura 167. L'importo di reazione dipende dalla capacità griglia–catodo. Un condensatore fisso C è connesso fra la griglia ed il catodo per fornire l'importo appropriato di reazione per il tubo alla frequenza usata. Questa capacità non è critica ed ordinariamente non è necessario cambiare il condensatore quando si cambiano le bande di frequenza. Il condensatore C_1 impedisce alla tensione continua di raggiungere il cristallo e fornisce un cammino a radiofrequenza. Il resistore R è una resistenza di dispersione di griglia. Il principale svantaggio di questo oscillatore è che l'uscita è bassa.

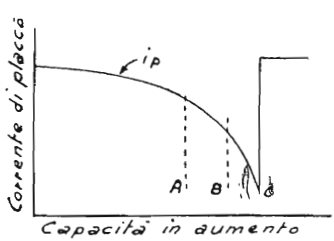


FIG. 166 - Curva d'accordo della corrente di placca per oscillatore a cristallo.

i) La cura ed il trattamento dei cristalli di quarzo sono molto importanti per il loro efficiente funzionamento. In molti oscillatori a cristallo non sarà necessario rimuovere dai contenitori i

cristalli di quarzo. Quando il cristallo si rifiuta di oscillare e non sono evidenti altre indicazioni di difetti, può essere necessario rimuovere il cristallo dal contenitore per pulirlo. Il tetracloruro di carbonio è uno dei migliori agenti detersivi. L'acqua ed il sapone sono pure efficaci per pulire i cristalli, ma deve essere posta molta

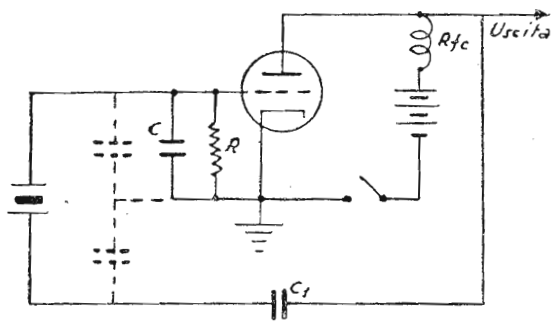


FIG. 167 – Oscillatore a cristallo tipo Pierce.

attenzione poichè è necessaria una azione vigorosa di strofinamento. Dopo la pulitura il cristallo deve essere risciacquato e quindi asciugato con un panno pulito. Non bisogna toccare le facce del cristallo con le dita poichè l'olio od altra sporcizia delle dita può impedire al cristallo di oscillare. Il cristallo deve essere preso dalle sue estremità. Poichè il cristallo è molto fragile, bisogna evitare di farlo cadere.

CAPITOLO XI

TRASMETTITORI AD ONDE CONTINUE

101. Trasmissione in onde continue.

a) La funzione di un trasmettitore radio è di fornire potenza ad una antenna ad una definita radiofrequenza ed a convogliare «l'intelligenza» a mezzo del segnale irradiato. I trasmettitori radio irradiano onde che possono essere di due tipi. Un tipo è dato dall'*onda continua o onda non modulata* di cui la forma d'onda è simile a quella della corrente oscillante a radiofrequenza nel circuito accordato di un oscillatore con tubo a vuoto. In questo tipo, le punte di tutti i cicli sono uguali ed uniformemente intervallate e non vi è alcuna distinzione fra un ciclo ed il successivo. L'altro tipo di radioonda è l'*onda modulata* (descritta nei Capitoli XII e XIV), in cui le ampiezza delle punte variano da ciclo a ciclo. Le onde continue sono usate soltanto per la radiotelegrafia, cioè nella trasmissione di impulsi corti e lunghi di radiofrequenza per formare i punti ed i tratti del codice Morse.

b) I quattro componenti essenziali di un trasmettitore radiotelegrafico in onde continue sono:

1) un generatore di oscillazioni a radiofrequenza;

2) un mezzo per amplificare queste oscillazioni a radiofrequenza;

3) un sistema di inserzione e di disinserzione dell'uscita a radiofrequenza in accordo con il codice da trasmettere (chiamato *manipolazione*);

4) un'antenna per irradiare l'uscita ad onda continua manipolata dal trasmettitore.

102. Amplificatori di potenza.

a) Se un oscillatore con tubo a vuoto è connesso direttamente ad un'antenna vi sarà della radiazione di radioonde. Tuttavia, poichè le correnti a radiofrequenza nel circuito oscillatore sono

relativamente deboli, può essere fornita all'antenna pochissima potenza. L'onda irradiata sarà pertanto molto debole. Inoltre ponendo sull'oscillatore un forte carico, come quello di un'antenna, varierà la frequenza su cui esso è accordato. Per questa ragione è necessario inviare le oscillazioni attraverso un amplificatore a radiofrequenza prima che il segnale sia radiato dalla antenna. Gli amplificatori a radiofrequenza usati nei trasmettitori ad onde continue sono generalmente amplificatori di potenza di classe *B* o di classe *C*, poichè un'antenna che irradia potenza richiede un amplificatore di potenza per sopperire all'energia irradiata.

b) Un circuito trasmettitore comprendente un oscillatore accoppiato ad un amplificatore è chiamato un circuito oscillatore–pilota amplificatore di potenza. Tale circuito trasmettitore è mostrato dalla figura 168. Partendo dalla sorgente del segnale dell'amplificatore, si vede che le oscillazioni del segnale sono applicate alla griglia del tubo amplificatore attraverso il condensatore C_2. Questo condensatore serve per due scopi. Esso trasferisce la energia a radiofrequenza e blocca la tensione continua del circuito serbatoio dell'oscillatore dalla griglia dell'amplificatore. La bobina d'arresto per la radiofrequenza L_1 impedisce all'energia a radiofrequenza di andare a massa. Il resistore R è il resistore di polarizzazione di griglia. La placca fornisce le correnti del segnale amplificato al circuito accordato L_2 C_2 nella forma di corti impulsi o punte di corrente alla frequenza del segnale, ciò che è caratteristico di tutti gli amplificatori in classe *C*. Se non vi fosse circuito accordato di placca, questi impulsi produrrebbero un'uscita che è presente soltanto per la parte del ciclo del segnale corrispondente alle punte della corrente di placca e così distorta da sembrare completamente differente dal segnale originale. Dalla discussione del circuito oscillante nel Capitolo X, sarà ricordato che quando il circuito serbatoio L_2 C_2 è accordato alla frequenza risonante, le punte di corrente di placca rinforzeranno nel giusto istante la corrente del circuito accordato, provocando in questo circuito la formazione di correnti fluenti in un senso e nell'altro, in sincronismo con il segnale di ingresso. A qualunque altra frequenza che non sia quella di risonanza, ciò non accade. La for-

mazione di queste correnti nel circuito accordato si può considerare dovuta al suo, così chiamato, effetto volano; queste correnti creano la porzione dell'onda sinoidale mancante negli impulsi della corrente di placca. Il tubo agisce fornendo semplicemente la potenza necessaria nei giusti istanti.

c) Se l'amplificatore di figura 168 è regolato per amplificare la frequenza del segnale dell'oscillatore, i circuiti accordati di placca dell'oscillatore e dell'amplificatore saranno entrambi accordati alla stessa frequenza. Lo stadio amplificatore ha un circuito di ingresso accordato (quello di placca dell'oscillatore) ed un circuito d'uscita accordato (il suo circuito accordato di placca) regolati sulla stessa frequenza; quindi l'amplificatore assomiglia all'oscillatore con placca e griglia accordata. Se non sono prese delle precauzioni, l'amplificatore potrà entrare in oscillazione determinando una condizione di funzionamento molto instabile. Dalla discussione relativa all'oscillatore rigenerativo, sarà ricordato che deve esistere una corretta relazione di fase fra i circuiti d'ingresso e d'uscita. Ma se la bobina di placca è invertita, la tensione riportata all'ingresso sarà fuori fase provocando degenerazione e quindi la cessazione delle oscillazioni. Da notare che nella figura 168, L_2 è a presa centrale. L'alta tensione è applicata al circuito accordato attraverso la bobina di arresto per la radiofrequenza che è sciuntata dal condensatore C_3, ponendo così la presa centrale a potenziale di massa per la radiofrequenza. Quando le correnti a radiofrequenza fluiscono attraverso la metà superiore dell'avvolgimento di L_2, C_3 e quindi a massa, le linee di forza del campo magnetico inducono una tensione nella metà più bassa di L_2 che è sempre in opposizione di fase con quella della metà superiore. Così è presa una piccola tensione dal punto più basso di L_2 che, attraverso il condensatore C_N, va ad alimentare la griglia. Variando il

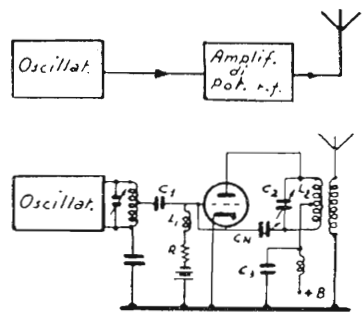


FIG. 168 - Trasmettitore con oscillatore-pilota ed amplificatore di potenza.

condensatore regolabile C_N può essere prelevato il giusto importo di tensione fuori fase da mandare alla griglia per bilanciare la tensione che è normalmente inviata indietro alla griglia attraverso la capacità infraelettronica del tubo, impedendo così ogni possibile oscillazione. Questo procedimento è chiamato *neutralizzazione* e C_N è conosciuto con il nome di *condensatore neutralizzante.*

d) L'uscita dell'amplificatore di potenza è usualmente accoppiata induttivamente al circuito d'antenna a mezzo di un trasformatore a radiofrequenza (*vedere* fig. 168).

103. Amplificatore separatore.

a) L'amplificatore di potenza mostrato dalla figura 168 è un amplificatore in classe *C*, il che significa che deve essere fornita della potenza dell'oscillatore per pilotare o eccitare l'amplificatore. Se è desiderato manipolare l'amplificatore, si determinerà una variazione di carico sull'oscillatore con conseguente instabilità di frequenza.

b) Per evitare questo inconveniente, quando è richiesta una estrema stabilità di frequenza, si aggiunge un amplificatore separatore nel circuito del trasmettitore (*vedi* fig. 169). Lo scopo di

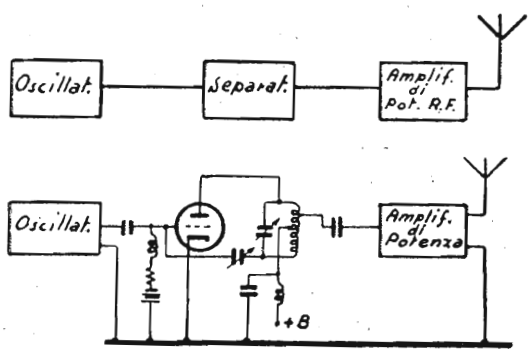


FIG. 169 - Diagramma di un trasmettitore che impiega un amplificatore-separatore.

questo stadio separatore è di isolare l'oscillatore dal carico variabile causato dalla manipolazione. Da questo stadio separatore è

desiderata piccolissima amplificazione, essendo il principale requisito la separazione e non l'amplificazione. Lo stadio separatore ideale sarebbe un amplificatore in classe *A*, poichè dalla sua griglia è richiesta soltanto tensione. Ma può essere usato qualunque tipo di amplificatore; quello mostrato nella figura 169 è di classe *B*, o di classe *C*, poichè impiega un resistore per la polarizzazione di griglia.

104. Metodi di polarizzazione.

a) Tutti i metodi di polarizzazione impiegati nei ricevitori possono essere usati nei trasmettitori. Tuttavia, data la forte potenza d'uscita richiesta, sono usati più frequentemente gli amplificatori in classe *B* ed in classe *C*. L'impiego degli amplificatori in classe *B* ed in classe *C* permette l'uso del resistore di polarizzazione di griglia. Questo tipo di polarizzazione non è usualmente usato nei ricevitori, giacchè il maggior numero di stadî di ricevitori opera in classe *A*, nel cui caso non fluisce corrente di griglia.

b) La polarizzazione con resistore di griglia è invariabilmente usata negli stadî amplificatori dei radiotrasmettitori. Il circuito griglia–catodo del tubo amplificatore agisce nello stesso modo del circuito placca–catodo di un diodo ordinario. La corrente fluirà quando la griglia è resa positiva durante le punte della tensione–segnale. La tensione sviluppata ai capi del resistore di polarizzazione di griglia consiste in una serie di impulsi di corrente continua e, se un condensatore filtro è connesso ai capi di questo resistore, una tensione continua di valore abbastanza costante sarà disponibile. La polarità di questa tensione renderà positiva l'estremità del resistore dalla parte del catodo e negativa l'estremità dalla parte della griglia. Pertanto si può dire che la griglia ha una polarizzazione negativa e allorchè le punte positive del ciclo del segnale d'ingresso, eccedono la tensione di polarizzazione, la griglia assorbirà corrente durante queste punte e la polarizzazione verrà mantenuta.

105. Tubi a vuoto per i trasmettitori.

a) Pochissima differenza esiste fra i tubi a vuoto usati nei ricevitori e quelli usati nei trasmettitori, ad eccezione delle dimensioni. Poichè il maggior numero di tubi dei trasmettitori sono tubi di potenza, progettati per amplificare alte tensioni e forti correnti, essi debbono essere più grandi e più robusti.

b) La dissipazione di placca di un tubo è la differenza fra la potenza d'ingresso di placca e la potenza d'uscita. Se questa dissipazione è più grande della normale, la placca si riscalderà eccessivamente, diventando qualche volta di colore rosso. Se questo riscaldamento è intenso, possono svilupparsi dei gas entro il tubo rendendolo inefficiente. Un trasmettitore non dovrebbe essere fatto funzionare per nessun periodo di tempo se le placche del tubo divengono rosse, a meno che l'istruzione di impiego non preveda che queste siano le condizioni normali di funzionamento. La perdita della polarizzazione, l'insufficiente eccitazione della griglia, o il disaccordo, possono provocare il sovrariscaldamento di un tubo trasmittente.

106. Neutralizzazione.

a) La neutralizzazione è il procedimento con cui si bilancia la tensione di reazione dovuta alla capacità infraelettrodica del tubo con una tensione uguale ma di polarità opposta. Dividendo il circuito di placca in modo che la tensione di neutralizzazione sia sviluppata attraverso una parte di esso, si effettua la *neutralizzazione di placca*. Sviluppando la tensione neutralizzante nel circuito di griglia si ha la *neutralizzazione di griglia*. La necessità di neutralizzazione degli amplificatori a radiofrequenza per evitarne l'oscillazione, è stata spiegata nel paragrafo 102 *c*).

b) Un trasmettitore tipico con un amplificatore neutralizzato è mostrato nella figura 170, dove la capacità infraelettrodica del tubo amplificatore è indicata con linea punteggiata. Il procedimento effettivo di neutralizzazione può essere eseguito in diversi modi.

c) Quando è possibile togliere la tensione di placca dallo stadio amplificatore, la neutralizzazione può essere compiuta nel seguente modo. Con eccitazione presente nel circuito di griglia, si tolga la tensione di placca nello stadio. Se vi è un milliamperometro nel circuito di griglia dell'amplificatore, il condensatore di neutralizzazione è regolato sino a che non vi è variazione della corrente di griglia quando l'accordo del circuito di placca dell'amplificatore è spostato attorno alla risonanza. Se non vi è un milliaperometro nel circuito di griglia, una prova per la neutralizzazione può essere

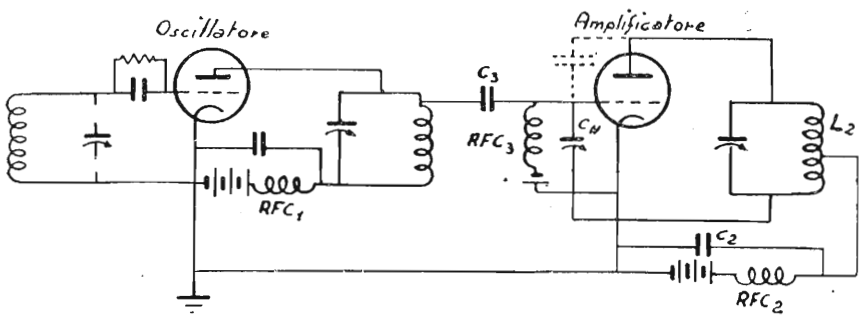


FIG. 170 - Trasmettitore con amplificatore neutralizzato.

fatta determinando se è o non è presente della tensione a radiofrequenza nel circuito di placca dell'amplificatore. Un bulbo luminiscente al neon, una spira di filo connessa ad una piccola lampadina, o un galvanometro sensibile a radiofrequenza accoppiato lascamente al circuito serbatoio, non mostrerà la presenza di tensione a radiofrequenza quando lo stadio è appropriatamente neutralizzato. Inoltre se non vi è reazione sulle correnti di placca e di griglia dello stadio di eccitazione quando l'amplificatore è accordato alla risonanza, lo stadio è appropriatamente neutralizzato.

d) In alcuni circuiti di trasmettitori è più conveniente disinserire la tensione del filamento sullo stadio amplificatore invece di togliere la tensione di placca. Se ciò è fatto, il procedimento di neutralizzazione può essere effettuato come sopra.

e) Per ottenere la completa neutralizzazione, il trasmettitore deve essere progettato in modo che non vi sia accoppiamento fra

il circuito di ingresso (griglia) e quello d'uscita (placca) degli stadî amplificatori, tranne che attraverso la capacità elettrodica dei tubi. Gli induttori di ingresso e di uscita debbono essere elettromagneticamente schermati l'un dall'altro, o posti fra di loro ad angolo retto in modo che i loro campi non possono influenzarsi. La distribuzione dei conduttori e la disposizione delle parti debbono essere tali che le capacità disperse e gli accoppiamenti induttivi siano ridotti ad un minimo.

f) La *neutralizzazione trasversale* di un amplificatore in « push-pull » è effettuata come mostrato dalla figura 171 (1). La placca del tubo 1 è connessa alla griglia del tubo 2 attraverso un condensatore di neutralizzazione; la placca del tubo 2 è connessa alla griglia del tubo 1 attraverso un altro condensatore di neutralizzazione. La tensione a radiofrequenza attraverso ciascun condensatore di neutralizzazione bilancia la tensione a radiofrequenza attraverso la capacità infraelettrodica del tubo alla cui griglia è connesso il condensatore.

g) Un metodo speciale di neutralizzazione di amplificatore conosciuto con il nome di *sistema Rice* è mostrato dalla figura 171 (2). Questa disposizione è simile a quella della figura 170, con l'eccezione che il sistema Rice impiega un circuito d'ingresso spezzato invece di un circuito d'uscita spezzato.

h) L'impiego di un ben schermato tetrodo o di un pentodo elimina la necessità della neutralizzazione, poichè in questi tubi la placca e la griglia sono schermate l'una dall'altra. Tuttavia, il rendimento complessivo di questi tubi non è così grande come quello dei triodi, poichè vi è perdita di potenza nella griglia schermo. L'alta impedenza di tali tubi li rende più convenienti quali amplificatori di tensione che come stadi finali d'uscita, in cui la potenza d'uscita è il primo fattore. Data la bassa eccitazione occorrente per i tetrodi e per i pentodi, essi sono invece specialmente convenienti come stadî intermedi di un trasmettitore.

i) Un tipico oscillatore controllato a cristallo, seguito da un amplificatore separatore impiegante un tetrodo e da un amplifi-

catore di potenza a triodo, è mostrato dalla figura 172. L'oscillatore a cristallo è un circuito convenzionale a pentodo che fornisce sufficiente energia d'uscita per eccitare l'amplificatore intermedio a tetrodo. L'eccitazione è prelevata da una presa sull'induttore dell'oscillatore, poichè il tetrodo è comparativamente facile ad eccitare per una piena uscita. In tal modo viene posto un piccolo carico sull'oscillatore che lo rende stabile pur manipolando lo

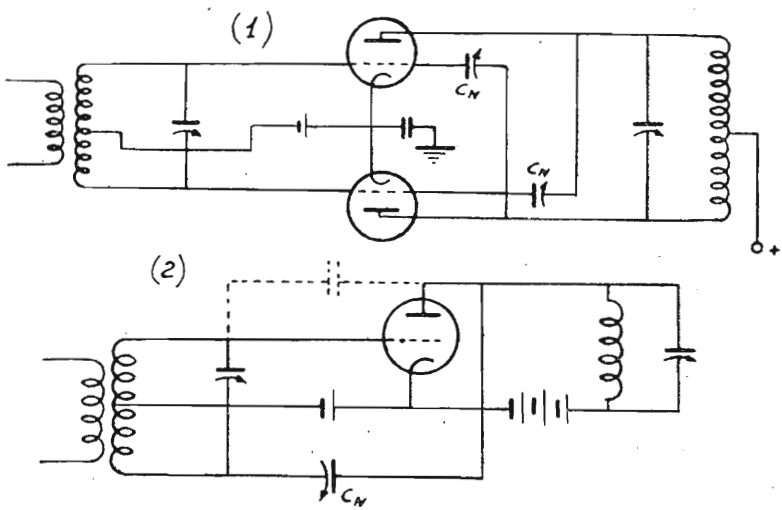


FIG. 171 - Circuiti neutralizzati.
(1) Neutralizzazione di uno stadio in « push-pull ».
(2) Neutralizzazione sistema Rice.

stadio intermedio. Il condensatore C_1 sciunta il catodo a massa. Ciò impedisce lo sviluppo di tensioni a radiofrequenza nei conduttori del tasto di manipolazione, che possono provocare reazione e possibili oscillazioni. Il resistore R_1 è un resistore di caduta che riduce la tensione al valore appropriato per la griglia schermo. Il condensatore C_2 è il condensatore di disaccoppiamento per la griglia schermo ponendola a potenziale di massa (per la radiofrequenza), schermando cosi elettrostaticamente la griglia dalla placca. Ciò impedisce qualunque trasferimento di energia attraverso il tubo ed elimina la necessità di neutralizzare questo stadio. L'amplificatore finale è neutralizzato dal condensatore C_N, utiliz-

zante un circuito di neutralizzazione di griglia. Con l'eccitazione applicata alla griglia dell'amplificatore finale, C_N è regolato ad una posizione tale che lo spostamento dell'accordo del condensatore del circuito di placca C_3 attraverso la risonanza non provochi deflessione nell'indicazione della corrente di griglia sul milliamperemetro A_3.

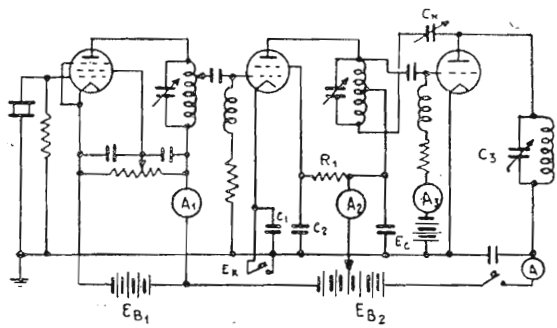


FIG. 172 - Oscillatore controllato a cristallo con amplificatore-eccitatore a tetrodo ed amplificatore finale a triodo.

107. Moltiplicatori di frequenza.

a) Poichè la frequenza di risonanza naturale di un cristallo è inversamente proporzionale alle dimensioni e allo spessore del cristallo (cioè più è sottile il cristallo e più alta è la frequenza) vi è un limite fisico nella riduzione dello spessore del cristallo e pertanto un limite nella frequenza di risonanza più alta che può ottenersi con un cristallo. Se è necessario che il radiotrasmettitore operi ad una frequenza più alta di quella ottenibile con un cristallo, occorre usare i moltiplicatori di frequenza.

b) La moltiplicazione di frequenza è resa possibile dal fatto che se un tubo a vuoto è fatto funzionare in un certo modo, si sviluppa distorsione armonica nel circuito di placca.

Un'armonica è un multiplo della frequenza originale o fondamentale. Cosi, la seconda armonica è di frequenza doppia della fondamentale; la terza armonica è di frequenza tripla della fondamentale e cosi via di seguito. Ordinariamente la distorsione

armonica deve essere evitata in un circuito amplificatore, giacchè la distorsione altera la forma d'onda del segnale originale. Tuttavia, quando è richiesta la moltiplicazione di frequenza, il segnale è deliberatamente distorto per formare forti armoniche, e la frequenza armonica desiderata è selezionata con un circuito accordato appropriato.

c) Poichè l'uscita di un amplificatore in classe *C* è grandemente distorta, i moltiplicatori di frequenza sono generalmente fatti operare in questo modo. In effetti i tubi di certi moltiplicatori di frequenza sono polarizzati molto più negativamente di un ordinario amplificatore in classe *C* affinchè possano introdurre la più grande distorsione possibile. Tuttavia, più alta è la polarizzazione di griglia e più grande è la eccitazione di griglia richiesta. Il circuito serbatoio di placca è accordato all'armonica desiderata, mentre il circuito di griglia è accordato alla frequenza fondamentale. L'effetto volano del circuito serbatoio di placca provvederà a generare la rimanente porzione dell'onda sinoidale completando le punte di frequenza armonica fornite dal tubo a vuoto. Questo è lo stesso effetto descritto al paragrafo 102 *b*).

d) Debbono prevalere tre importanti condizioni affinchè si possa ottenere un efficiente moltiplicatore di frequenza: alta tensione di eccitazione di griglia, alta tensione di polarizzazione di griglia ed un circuito serbatoio di placca accordato all'armonica desiderata. Se è scelta la seconda armonica, il circuito si chiama un *duplicatore di frequenza;* se è usata la terza armonica, il circuito si chiama un *triplicatore di frequenza* e cosi di seguito.

e) Se un amplificatore è fatto funzionare sulla frequenza fondamentale, esso deve essere neutralizzato, giacchè i circuiti di placca e di griglia sono accordati alla stessa frequenza. Tuttavia, se il circuito è fatto funzionare come moltiplicatore di frequenza, esso non richiede neutralizzazione, giacchè i circuiti di placca e di griglia non sono accordati alla stessa frequenza.

f) Certi circuiti amplificatori sono convenienti per la generazione di armoniche pari ed altri per la generazione di armoniche dispari.

Un circuito in « push–pull » ha l'abilità di produrre soltanto armoniche dispari (terza, quinta, settima, e così su). Le armoniche di ordine pari possono essere prodotte da un amplificatore simile ad un « push–pull », come quello mostrato nella figura 173. Quando la tensione di eccitazione su una griglia raggiunge il valore di punta positivo, l'altra griglia è al valore di punta negativo, e la seconda alternanza del ciclo inverte i rispettivi potenziali di griglia. Così, la corrente pulsante di placca fluisce prima in un tubo e dopo nell'altro. Connettendo le placche in parallelo, gli impulsi d'uscita sono nella stessa direzione, ed il circuito serbatoio riceve due impulsi per ciascun ciclo di eccitazione. Il funzionamento dei duplicatori del tipo simile al « push–pull » non dipende dalle caratteristiche di distorsione del tubo. Tali duplicatori sono capaci di una uscita più grande e di un rendimento di placca più alto dell'amplificatore del tipo a distorsione usato per la duplicazione. La potenza d'uscita normale di un amplificatore, quando opera come moltiplicatore di frequenza, è inferiore di quella che si ha quando opera alla frequenza fondamentale.

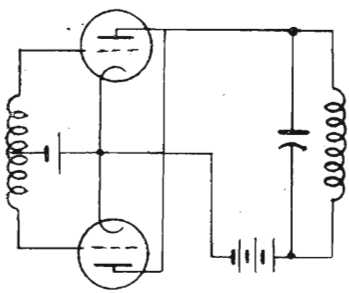


FIG. 173 – Amplificatore armonico in « push–pull ».

108. **Oscillazioni parassite.**

Le condizioni di un circuito di un oscillatore o di un amplificatore possono essere tali da far generare oscillazioni secondarie a frequenze diverse da quella desiderata. Tali oscillazioni sono chiamate appropriatamente *oscillazioni parassite* e debbono essere eliminate. L'energia richiesta per mantenere le oscillazioni parassite è perduta nei riguardi della potenza utile d'uscita. Un circuito che ha oscillazioni parassite ha un basso rendimento ed opera frequentemente in condizioni errate. La figura 174 mostra qualcuno dei circuiti occasionali che può dar luogo ai parassiti nel circuito del trasmettitore di figura 170. Le linee tratteggiate di

figura 174 (1) delimitano un circuito ad ultra alta frequenza. Quella parte del trasmettitore che costituisce un possibile circuito per parassiti di bassa frequenza è mostrata in (3). Le oscillazioni parassite possono essere soppresse ponendo dei resistori e delle bobine di arresto per radiofrequenza in posizioni appropriate nei

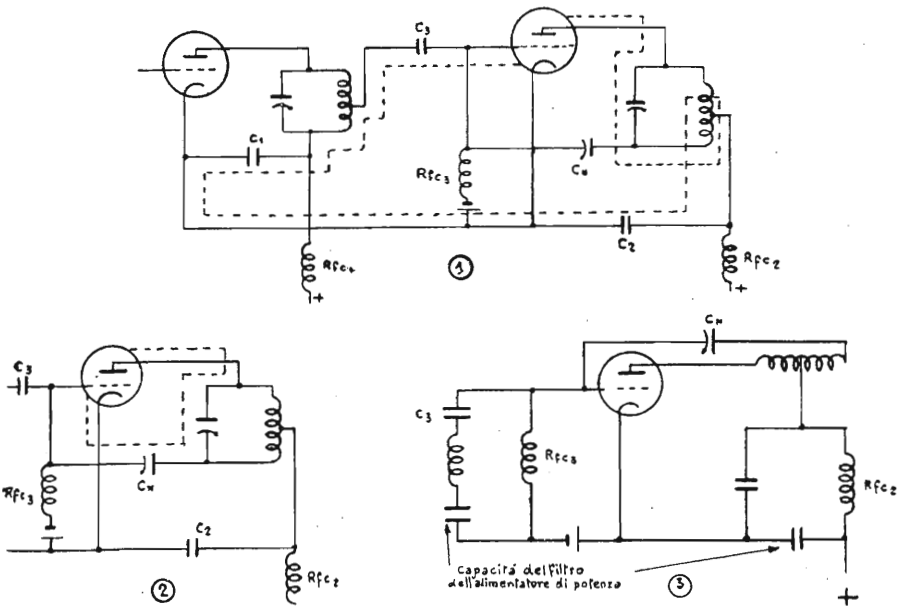


FIG. 174 - Circuiti di oscillazioni parassite nel trasmettitore mostrato dalla fig. 170. — (1) Alta frequenza. — (2) Ultra alta frequenza. — (3) Bassa frequenza.

circuiti oppure modificando leggermente i valori esistenti di alcuni elementi dei circuiti. Inoltre, deve essere posta molta cura nella disposizione fisica e nella filatura delle parti.

109. **Sistemi di manipolazione.**

a) La manipolazione di un trasmettitore ad onde continue determina la radiazione di un segnale a radiofrequenza soltanto quando sono chiusi i contatti del tasto o della chiave di manipolazione. Quando il tasto è aperto, il trasmettitore non irradia ener-

gia. La manipolazione è eseguita o nell'oscillatore o in uno stadio amplificatore del trasmettitore. Differenti sistemi di manipolazione sono impiegati nei trasmettitori militari.

b) I due circuiti (1) e (2) di figura 175 mostrano il metodo più comune di manipolazione di un trasmettitore quando essa è effettuata nell'oscillatore. Se il filamento del tubo è riscaldato da una corrente alternata, il lato negativo del circuito anodico corrisponde alla connessione sulla presa centrale del trasformatore per l'alimentazione in alternata del filamento.

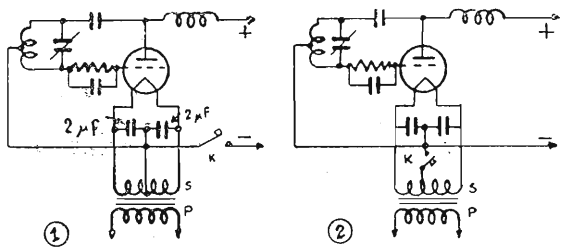


FIG. 175 - Due metodi di manipolazione di un oscillatore.

Nella figura 175 (1) il circuito di griglia è sempre chiuso ed il tasto apre e chiude il lato negativo del circuito di placca. Questo sistema è chiamato manipolazione di placca. Quando il tasto è aperto, non fluisce corrente di placca ed il tubo non oscilla. Nella figura 175 (2) i circuiti di griglia e di placca sono entrambi aperti quando il tasto è aperto, ed entrambi chiusi quando il tasto è chiuso. Benchè i circuiti di figura 175 possono essere usati anche per manipolare gli amplificatori, per questi sono generalmente impiegati altri metodi di manipolazione giacchè si incontrano valori più grandi di corrente di placca e tensioni più elevate.

c) Il funzionamento del circuito di manipolazione di figura 176 (1) è simile a quello del metodo di polarizzazione di griglia con resistore catodico. Quando il tasto è aperto, la corrente di placca fluisce attraverso il resistore R_1 in una direzione che rende negativa l'estremità di esso connessa al resistore di griglia R_G rispetto all'estremità connessa al catodo.

Se R_1 è di valore abbastanza alto, la polarizzazione sviluppata è sufficiente a provocare l'interdizione della corrente di placca. Con questo sistema non è possibile l'interdizione completa, poichè la polarizzazione sviluppata ai capi di R_1 dipende dal flusso della corrente che l'attraversa. Tuttavia, il bloccaggio è sufficiente per poter praticamente effettuare la manipolazione. Premendo il tasto, viene cortocircuitato il resistore R_1, togliendo così la polarizzazione e consentendo lo stabilirsi del flusso normale della corrente di placca. Il resistore di griglia R_G è l'usuale resistore dispersore di griglia per ottenere la polarizzazione nel funzionamento normale.

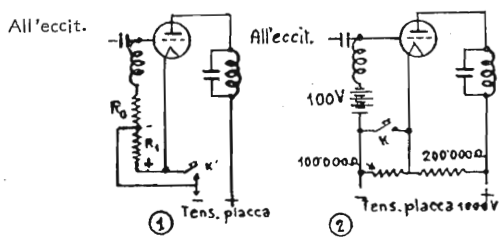


FIG. 176 – Due metodi di manipolazione per bloccaggio griglia.

d) La manipolazione per bloccaggio di griglia di figura 176 (2) consente la completa interdizione della corrente di placca ed è uno dei migliori metodi di manipolazione degli stadî amplificatori nei trasmettitori militari. Con il tasto aperto, due terzi di 1000 volt, ossia 667 volt, si trovano ai capi del resistore di 200.000 ohm (cioè 667 volt sono applicati alla placca) ed un terzo di 1000 volt, ossia 333 volt, si trovano ai capi del resistore di 100.000 ohm, cosicchè 333 + 100, ossia 433 volt di polarizzazione negativa sono applicati alla griglia.

Sotto queste condizioni non può fluire corrente di placca. Con il tasto abbassato, viene cortocircuitato il resistore di 100.000 ohm e l'intera tensione di 1000 volt dell'alimentazione di placca appare fra placca e catodo, mentre la polarizzazione di griglia è ridotta a 100 volt. In queste condizioni, l'amplificatore opera normalmente.

e) Nei trasmettitori aventi un oscillatore seguito da uno o più stadî di amplificazione di potenza, la manipolazione può essere effettuata a mezzo della disposizione che meglio soddisfa alle necessità. In qualche complesso campale portatile, il tasto trasmettitore apre e chiude i circuiti di placca di tutti i tubi usati nel trasmettitore. Con ciò si toglie l'intero carico dell'alimentazione di placca mentre il tasto è aperto. L'alimentazione è usualmente ottenuta da batterie di accumulatori o da generatori azionati a mano.

Nei piccoli trasmettitori installati permanentemente, dove il costo di alimentazione non è di primaria importanza, e dove si vuole una più grande stabilità di frequenza, l'oscillatore rimane continuamente in funzionamento, mentre viene impiegato il trasmettitore. Questo mantiene il tubo oscillatore alla normale temperatura di funzionamento ed offre minori possibilità di variazioni di frequenza ciascuna volta che si chiude il tasto.

Se l'oscillatore è in funzionamento continuo e la manipolazione è effettuata nell'amplificatore a radiofrequenza, il circuito oscillatore deve essere accuratamente schermato per impedire radiazione ed interferenza sulla ricezione.

f) Nei trasmettitori che impiegano un oscillatore controllato a quarzo, la manipolazione è quasi sempre effettuata nei circuiti amplificatori di potenza. Nei trasmettitori più grandi (75 watt o più), l'ordinario tasto di manipolazione a mano non può interrompere la corrente di placca senza eccessivo scintillamento.

Per di più, dati gli alti potenziali di placca usati, è pericoloso operare con un tasto manuale nel circuito di placca. Un leggero movimento della mano sotto la manopola del tasto può causare una forte scossa; oppure, nel caso di bobine d'arresto difettose per la radiofrequenza del circuito di placca, si può incorrere in una forte bruciatura prodotta dalla radiofrequenza. In questi trasmettitori più potenti, è usata una batteria locale a bassa tensione in serie con il tasto manipolatore per aprire e chiudere un circuito attraverso la bobina di un relè. I contatti del relè, a sua volta, aprono e chiudono i circuiti di manipolazione dei tubi amplificatori. Lo schema di un tipico sistema di manipolazione azionato

a relè, è mostrato dalla figura 177. Il tasto manipolatore chiude il circuito dell'alimentazione di bassa tensione attraverso la bobina *L* del relè di manipolazione. L'elettromagnetismo di questa bobina attira a sè l'armatura metallica *A* vincendo la tensione della molla *S*. Questa armatura, quando è attratta verso il nucleo della bobina, chiude i punti di contatto *C*, che sono nel circuito di manipolazione dell'amplificatore di potenza. Quando il tasto è aperto la bobina si disseccita e consente ai punti di contatto di staccarsi per effetto della tensione della molla.

g) Teoricamente, la manipolazione, in un trasmettitore, dovrebbe fare istantaneamente iniziare e cessare la radiazione della portante. Tuttavia, l'istantanea inserzione e disinserzione della potenza dà origine alla formazione di correnti che provocano interferenze nei ricevitori vicini. Pur pensando che tali ricevitori siano accordati a frequenze alquanto differenti da quella del trasmettitore, l'interferenza sarà presente nella forma di click o colpi. Per impedire tali interferenze, sono usati speciali filtri nei sistemi di manipolazione dei radiotrasmettitori.

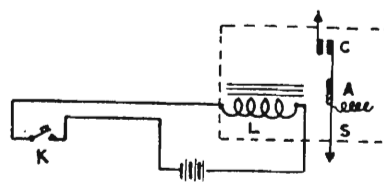


FIG. 177 - Circuito per sistema di manipolazione azionata da relè.

Due tipi di tali filtri sono mostrati nella figura 178. I condensatori e le bobine d'arresto per radiofrequenza in entrambi i circuiti di figura 178 impediscono la formazione delle correnti. L'induttore o bobina d'arresto *L* provoca un leggero ritardo nella corrente quando si chiude il tasto e così la corrente si forma gradualmente anzichè istantaneamente. Il condensatore *C* restituisce l'energia lentamente quando il tasto è aperto. Il resistore *R* controlla l'andamento della curva di carica e scarica del condensatore *C* ed impedisce pure lo scintillamento ai contatti del tasto che sarebbe provocato dalla scarica istantanea di *C* quando si chiude il tasto.

h) Un'altra difficoltà che si può incontrare manipolando un trasmettitore è la presenza di un'onda di ritorno. Questa è dovuta

a della energia che si disperde dall'antenna pur essendo il tasto aperto. Si ha un effetto come se i punti ed i tratti del codice fossero una porzione più intensa di una portante continua. In queste condizione può essere difficile distinguere i punti dai tratti. La radiazione dell'onda di ritorno è usualmente conseguenza di neutralizzazione incompleta.

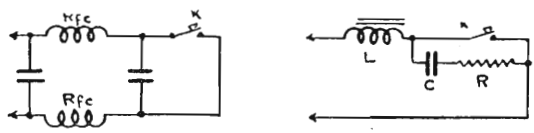


FIG. 178 - Due tipi di filtri per tasto di manipolazione.

110. Circuito di un trasmettitore ad onde continue.

a) Il circuito di un trasmettitore completo, comprendente un oscillatore pilota ed un amplificatore di potenza, è mostrato dalla figura 179. Il circuito consiste solo in due tubi, un tubo funzionante in un circuito oscillatore Hartley e l'altro operante come un amplificatore in classe *C*.

b) L'oscillatore è un convenzionale circuito Hartley alimentato in parallelo che impiega un tubo VT–62 (corrispondente al tipo commerciale 801) con 350 volt sulla placca. Questa tensione pone il tubo in condizione di poter fornire una potenza d'uscita di 7,5 watt. Per effetto di questa esuberanza di potenza, una porzione dell'uscita dell'oscillatore può essere direttamente applicata alla griglia dell'amplificatore in classe *C* con risultati abbastanza buoni.

c) La bobina d'arresto per la radiofrequenza L_1 consente il passaggio della corrente continua alla placca del tubo oscillatore, ma impedisce alle correnti a radiofrequenza di andare nell'alimentazione. Le correnti a radiofrequenza vanno, attraverso il condensatore C_1, al circuito oscillante L_2 C_2. Il resistore R_1 è

il resistore di polarizzazione di griglia ed è sciuntato dal condensatore filtro C_3.

L'eccitazione di griglia per l'amplificatore è prelevata da una presa sul lato placca del circuito oscillante, e la tensione impressa alla griglia dell'amplificatore è la tensione esistente fra questa presa e la connessione di massa. Se è richiesta più eccitazione sulla griglia, la posizione della presa è spostata verso la placca. Il condensatore C_4 blocca la tensione continua ma consente alla tensione a radiofrequenza di apparire sulla griglia dell'amplificatore. La bobina d'arresto per la radiofrequenza L_3 impedisce il flusso delle

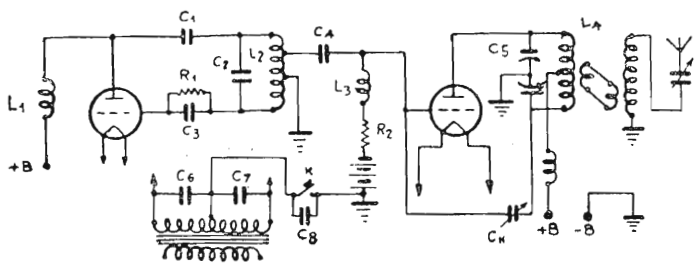


FIG. 179 – Circuito completo oscillatore-pilota e amplificatore di potenza.

correnti a radiofrequenza ma permette il flusso della corrente di griglia rettificata. È prevista una batteria per fornire una polarizzazione di protezione. La polarizzazione di griglia totale quando lo stadio è in funzione (questo è un amplificatore in classe C) sarà data dalla tensione della batteria più la tensione sviluppata dal resistore di polarizzazione di griglia. L'induttore L_4 ed il condensatore C_5 formano il circuito serbatoio di placca dell'amplificatore.

d) L'induttore è a presa centrale per fornire la tensione neutralizzante che è alimentata alla griglia, attraverso il condensatore di neutralizzazione C_N. Un condensatore con statore ad elementi suddivisi viene usato per l'accordo; il suo rotore è posto a massa. Questo ha il vantaggio di poter fornire lo stesso rapporto di tensione di neutralizzazione per qualunque frequenza. Pertanto,

una volta che lo stadio è neutralizzato, C_N non dovrà più normalmente essere regolato, a meno che esso non sia stato spostato dalla sua posizione da vibrazioni o scosse. La bobina d'arresto L_5 serve ad impedire che le correnti a radiofrequenza fluiscano nell'alimentatore di potenza.

e) In questo circuito, i catodi dei tubi sono filamenti riscaldati direttamente. Per togliere ogni eventuale ronzio, il trasformatore del filamento è a presa centrale. La griglia è allora sempre a potenziale zero per quanto riguarda la tensione alternativa sul filamento. I condensatori C_6, C_7 e C_8 forniscono un cammino con ritorno a massa per le correnti a radiofrequenza, mantenendole così fuori dagli avvolgimenti del trasformatore del filamento. Questi condensatori impediscono pure la possibilità di danneggiamento dell'isolamento del trasformatore da parte delle correnti a radiofrequenza.

f) Il tasto è posto sul conduttore di ritorno del filamento, ed apre e chiude il cammino di ritorno a massa per la corrente continua ai tubi. L'oscillatore e l'amplificatore sono manipolati insieme per impedire al trasmettitore di oscillare quando il tasto è aperto. Il vantaggio di questo tipo di manipolazione è che esso fornisce un metodo di funzionamento ad interruzione.

Per esempio, un operatore alla stazione *A* sta trasmettendo un messaggio alla stazione distante *B*. Assumiamo che durante il corso della trasmissione l'operatore in *B* non riceve una parte del messaggio. Sarà allora possibile per lui far interrompere la trasmissione inviando una rapida successione di punti. Poichè il trasmettitore in *A* è silenzioso fra i punti ed i tratti della sua trasmissione, egli può sentire i segnali di interruzione della stazione *B* e ripetere tutto o una parte del messaggio.

g) L'accoppiamento ad anello è usato per trasferire la potenza dal trasmettitore all'antenna. L'accoppiamento ad anello consiste in un paio di fili con un cappio di due o tre spire a ciascuna estremità. Ciascun cappio deve essere posto in un punto di bassa tensione a radiofrequenza (il punto dove il + *B* entra nel circuito serbatoio) per impedire un accoppiamento capacitivo fra

la bobina dell'anello ed il circuito serbatoio di placca. Esso è una forma molto efficiente d'accoppiamento ed è usato in molti complessi. Esso può essere usato fra gli stadî o da uno stadio finale all'antenna. Il suo principale vantaggio è dato dal fatto che può avere una qualunque ragionevole lunghezza necessaria per accoppiare stadî abbastanza distanti, in cui un altro tipo di accoppiamento sarebbe non pratico e non conveniente.

111. **Accordo dei trasmettitori.**

a) È importante che tutti i radiotrasmettitori siano accordati appropriatamente per assicurare un efficiente funzionamento sulla frequenza assegnata.

Sono generalmente usati strumenti per la misura della corrente di placca per indicare l'appropriata regolazione degli stadî a radiofrequenza. Tutti gli stadî, ad eccezione dell'oscillatore, sono sempre regolati ed accordati per il minimo della corrente di placca. Se uno stadio non è accordato alla risonanza, la corrente di placca sarà elevata, con conseguente alta dissipazione e quindi basso rendimento anodico.

Quando uno stadio è caricato da un altro stadio o da una antenna, la corrente di placca dello stadio in questione deve essere ricontrollata per la risonanza del circuito (minima corrente di placca) dopo l'applicazione del carico.

b) Se sono disponibili strumenti di misura per la corrente di griglia, gli stadî d'ingresso debbono essere accordati in modo che vi sia il massimo assorbimento di corrente di griglia. Se questi strumenti non sono disponibili la risonanza del circuito di griglia può essere indicata da un rapido accrescimento della corrente di placca dello stadio precedente.

c) Se nel complesso è presente un tubo che abbia sprigionato dei gas, la corrente di placca di quello stadio non può essere portata all'appropriato minimo e la corrente di griglia rimarrà troppo bassa. Il tubo agirà come se vi fosse un cortocircuito fra la griglia ed il catodo e la massima parte dell'energia fornita allo stadio

sarà scaricata a massa e perduta. Questa condizione può essere riconosciuta, oltre che da una delle indicazioni ora menzionate, da un bagliore di colore violetto fra gli elementi del tubo. Il solo rimedio per questa condizione è di sostituire il tubo con un nuovo tubo.

112. **Possibilità del trasmettitore ad onde continue.**

Data la relativa lentezza e difficoltà della manipolazione, potrebbe sembrare che la radiotelegrafia sia superata dalla radiotelefonia che impiega onde modulate.

Tuttavia la trasmissione ad onde continue ha quattro distinti vantaggi sulla radiotelefonia.

a) I trasmettitori radiotelegrafici hanno una maggiore portata di trasmissione di quelli radiotelefonici della stessa potenza d'uscita, poichè la parola incorporata nella portante proveniente da una stazione lontana può essere udibile ma non intelliggibile.

b) I segnali ad onde continue possono essere raccolti dai ricevitori per telegrafia che sono capaci di respingere la maggior parte dei disturbi caratteristici di tutte le radioonde.

c) Il trasmettitore radiotelegrafico è più piccolo e di più semplice funzionamento di quello radiotelefonico della stessa potenza.

d) Con una data banda di frequenza, possono operare senza interferenze un numero di trasmettitori radiotelegrafici molto più grande di quello di trasmettitori radiotelefonici.

CAPITOLO XII

TRASMETTITORI MODULATI

113. Trasmissione radiotelefonica.

a) È stato mostrato nei Capitoli precedenti che le onde continue di una radiofrequenza possono essere interrotte a mezzo di un tasto in modo che « treni » di oscillazioni a radiofrequenza, corti e lunghi (punti e trattini), possano convogliare « l'intelligenza » sotto forma di segnali convenzionali. Vi sono due altri metodi per convogliare l'intelligenza a mezzo delle onde continue, agendo sulle caratteristiche proprie della portante a radiofrequenza: l'ampiezza e la frequenza. Variando o l'ampiezza o la frequenza di un'onda continua si potrà, come per il codice, eseguire la trasmissione della voce e della musica. Questo procedimento è conosciuto con il nome di *modulazione*. La modulazione di ampiezza è usata in quasi tutti i trasmettitori radiotelefonici. La modulazione di frequenza è relativamente recente nel campo della radio e sarà discussa nel Capitolo XIII.

b) La modulazione di ampiezza può essere definita come la variazione dell'intensità a frequenza audio dell'uscita a radiofrequenza di un trasmettitore. In altre parole l'energia a radiofrequenza presenta aumenti e diminuzioni di potenza in accordo con le frequenze audio (suono). Se l'audiofrequenza è alta, la radiofrequenza deve variare in ampiezza più rapidamente che se l'audiofrequenza fosse bassa. Se la nota audio è di forte volume, l'energia a radiofrequenza deve aumentare e decrescere secondo una percentuale più grande che se la nota ad audiofrequenza fosse debole. Pertanto le variazioni della radiofrequenza debbono corrispondere sotto ogni riguardo alle variazioni ad audiofrequenza.

c) Il diagramma a blocchi di un tipico trasmettitore radiotelefonico è mostrato dalla figura 180. Sarà notato che lo stadio finale del trasmettitore è un amplificatore di potenza a radiofre-

quenza che per diversi aspetti è simile allo stadio finale di un trasmettitore in onde continue. Il trasmettitore ad onde continue è manipolato controllando con un tasto la tensione sulla placca o sulla griglia dell'amplificatore finale. Se si desidera variare l'uscita di un trasmettitore, invece di inserirla o di disinserirla semplicemente, ciò può essere fatto variando la tensione su uno degli elettrodi del tubo dell'amplificatore di potenza a radiofrequenza finale. Per esempio, se la tensione di placca dell'amplificatore

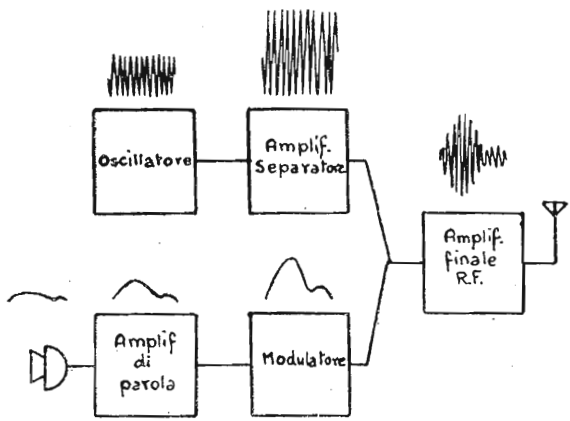


FIG. 180 - Diagramma a blocchi di un trasmettitore modulato in ampiezza mostrante la formazione dell'onda modulata.

finale fosse variata in accordo con una frequenza audio, l'uscita dell'amplificatore e quindi del trasmettitore varierebbe nel medesimo modo. Questo è il metodo usato nel tipo più popolare di modulazione di ampiezza.

d) Per poter variare la tensione di placca dell'amplificatore a radiofrequenza finale in accordo con un'audiofrequenza, è necessario, prima di tutto, produrre una tensione audio. Ciò è fatto con un microfono. Tuttavia l'uscita di un microfono è molto piccola (usualmente minore di 1 volt), mentre la tensione di placca dell'amplificatore a radiofrequenza è abbastanza alta. L'aggiunta di una piccola tensione audio ed un'alta tensione di placca, provocherebbe solo una piccola variazione della tensione di placca.

È pertanto necessario amplificare l'uscita del microfono prima di applicarla alla placca dell'amplificatore di potenza. Questa amplificazione è usualmente compiuta in almeno due stadî. L'uscita del microfono è applicata alla griglia di un amplificatore di tensione in classe *A* che serve semplicemente ad aumentare la tensione. Il primo amplificatore di tensione è chiamato l'amplificatore ad audiofrequenza. La tensione d'uscita dell'amplificatore della parola è usata per eccitare la griglia di un audio amplificatore di potenza. Il modulatore può essere qualunque tipo di amplificatore di potenza audio capace di fornire sufficiente potenza indistorta. Così, può essere un amplificatore di classe *A*, classe *AB* o classe *B*. Se esso è un amplificatore di classe *AB* o di classe *B*, deve essere uno stadio in « push–pull » e la potenza d'uscita del modulatore è allora applicata alla placca dell'amplificatore di potenza a radiofrequenza.

e) La maniera secondo cui il segnale ad audiofrequenza è amplificato e quindi applicato alla portante a radiofrequenza è mostrato graficamente dalle forme d'onda di figura 180. Le oscillazioni a radiofrequenza senza modulazione costituiscono la *portante a radiofrequenza.* Applicando l'uscita audio del modulatore alla placca dell'amplificatore di potenza a radiofrequenza, si provoca l'aumento e la diminuzione della tensione di placca a frequenza audio e pertanto aumenta e diminuisce l'uscita a radiofrequenza dell'amplificatore, in accordo con le onde sonore che colpiscono il microfono. Così la portante è modulata e, poichè modulando la portante in questo modo varia l'intensità o l'ampiezza del segnale, questo metodo si chiama modulazione di ampiezza.

114. **Componenti audio.**

a) Le parti di un trasmettitore radiotelefonico che si riferiscono soltanto alle frequenze audio sono: il *microfono*, cioè il generatore dei segnali audio; *l'amplificatore ad audiofrequenza* che è un normale amplificatore di tensione ad audiofrequenza e il *modulatore* che fornisce la potenza occorrente per variare l'ampiezza dell'onda a radiofrequenza in accordo con il segnale audio.

b) Il *microfono a carbone* è quello più largamente usato negli apparati militari. Il diagramma di un tipico microfono a carbone è mostrato nella figura 181. Esso è in effetti una resistenza variabile. Le connessioni sono fatte ad un piccolo contenitore riempito di granuli di carbone; un diaframma flessibile è attaccato a questo contenitore. Le onde sonore prodotte dalla voce colpiscono il diaframma provocandone la vibrazione. La vibrazione del diaframma comprime e rilascia i granuli di carbone, facendo così variare la resistenza del microfono. Poichè $I = E/R$, al variare della resistenza, varia la corrente nel circuito. Pertanto, la voce produce una corrente unidirezionale fluttuante nel circuito del microfono. Il microfono di figura 181 è conosciuto come un microfono a carbone a singola capsula. Il termine capsula si riferisce al piccolo contenitore che racchiude i granuli di carbone. I microfoni a carbone a doppia capsula, che impiegano una seconda capsula sull'altro lato del diaframma, sono raramente usati negli apparati militari.

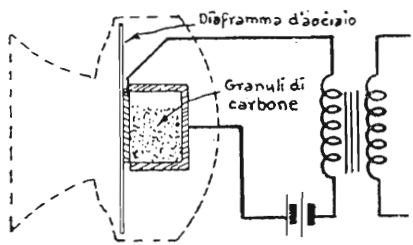


FIG. 181 - Microfono a carbone.

c) Il *microfono dinamico* (fig. 182) è un tipo di microfono più moderno. La bobina mobile che è agganciata al diaframma si muove in dentro e in fuori in accordo con gli impulsi della voce, ed i fili della bobina tagliano le linee di forza magnetica create dal magnete permanente. La tensione indotta nella bobina mobile varia esattamente come la parola ed il suono impresso nel diaframma. Il microfono dinamico è forse il tipo di microfono campale più robusto, ma ha lo svantaggio di fornire una bassa uscita. Ciò è compensato dal vantaggio che, a differenza del microfono a carbone, il microfono dinamico non richiede una batteria nel circuito.

d) L'amplificatore ad audiofrequenza è usato per elevare l'uscita audio del microfono ad un conveniente livello per essere

impiegata nello stadio modulatore. Le correnti d'uscita del microfono sono debolissime e per poter essere impiegate nella modulazione, debbono essere amplificate. Riferendosi alle figure 181, 182, si vede che l'uscita di ciascun microfono può essere applicata, a mezzo di trasformatore, alla griglia di un audio amplificatore. L'amplificatore impiegato è un amplificatore in classe *A* ad elevata sensibilità. I trasformatori mostrati nelle figure 181 e 182 hanno usualmente un altissimo rapporto nel numero di spire per poter elevare la tensione.

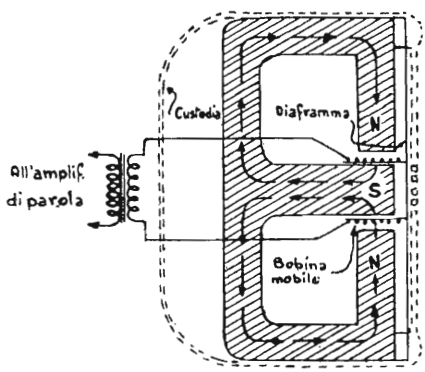


FIG. 182 - Microfono dinamico.

Così, qualunque piccola variazione di corrente microfonica nel primario di tale trasformatore svilupperà una tensione attraverso il secondario che è applicata alla griglia dell'amplificatore di parola. Il trasformatore serve pure ad adattare la bassa impedenza del microfono all'alta impedenza del circuito di griglia dell'amplificatore. Quando è usato un microfono dinamico, sono richiesti due e, qualche volta, tre stadî amplificatori ad audiofrequenza per elevare la debole tensione audio ad un livello conveniente per lo stadio modulatore.

e) Il *modulatore* fornisce la potenza necessaria per far variare l'ampiezza dell'onda a radiofrequenza in accordo con gli impulsi sonori. Il modulatore è sempre un amplificatore di potenza ad audiofrequenza e può essere usato sia del tipo a tubo singolo che

del tipo in « push–pull ». Lo stadio amplificatore di potenza in « push–pull » è capace di fornire molta più potenza con maggiore efficienza dell'amplificatore di potenza in « push–pull ». Lo stadio amplificatore di potenza in « push–pull » è capace di fornire molta più potenza con maggiore rendimento dell'amplificatore a tubo singolo.

115. **Percentuale di modulazione.**

a) Il grado di modulazione è espresso a mezzo della percentuale della deviazione massima di ampiezza rispetto al valore normale della portante a radiofrequenza. L'effetto di un'onda modulata, misurato dal responso del ricevitore, è proporzionale al grado o percentuale di modulazione.

b) La percentuale di variazione della tensione totale dello stadio amplificatore finale a radiofrequenza dipenderà dal rapporto della tensione ad audiofrequenza alla tensione continua. Per esempio, se la tensione continua di placca dell'amplificatore a radiofrequenza è 100 volt e la tensione ad audiofrequenza è 50 volt, le due tensioni si sommeranno (quando esse agiscono nella stessa direzione) per dare 150 volt. Esse si sottrarranno (quando agiscono in direzioni opposte) per dare 50 volt. La tensione di placca dell'amplificatore a radiofrequenza varierà fra 50 e 150 volt [fig. 183 (1)]. Poichè la variazione (50 volt su ciascun lato della tensione continua) è una metà della tensione continua di 100 volt, si dice che il trasmettitore è modulato al 50 per cento.

Questo stesso risultato può essere mostrato in termini dell'uscita a radiofrequenza del trasmettitore [figura 183 (2)]. L'ampiezza della portante (l'onda a radiofrequenza prodotta quando è applicata soltanto la tensione continua sulla placca dell'amplificatore a radiofrequenza) è mostrata in *A* della figura 183 (2). Da notare che questa portante è di ampiezza costante. Non appena è applicata una tensione alternativa in serie con la tensione continua (quando il modulatore è in funzionamento), la tensione di placca e quindi l'uscita a radiofrequenza, incomincia a variare. In *B* [figura 183 (2)] l'onda a radiofrequenza ha raggiunto una

ampiezza del 50 per cento più grande di quella durante il periodo *A*. Quando la tensione di placca decresce, l'uscita a radiofrequenza diminuisce. In *C* l'onda radiofrequenza ha raggiunto una ampiezza del 50 per cento più piccola di quella dell'onda non modulata in *A*. Pertanto, la percentuale o il grado di modulazione può essere definito come la percentuale di variazione dell'onda modulata rispetto all'onda non modulata.

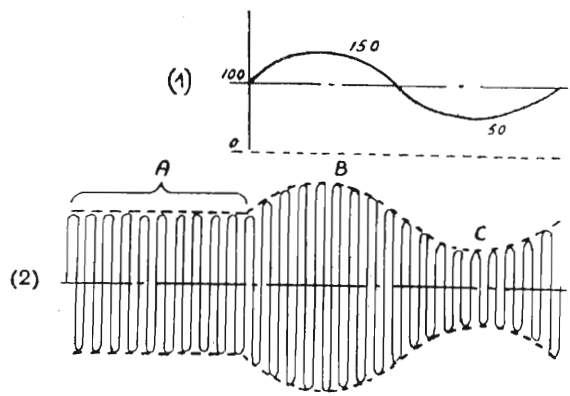


FIG. 183 – Modulazione 50 %.
(1) Valori istantanei tensione di placca.
(2) Onda a radiofrequenza modulata.

c) Se la tensione continua fosse 100 volt e la tensione audio fosse pure 100 volt, la tensione istantanea di placca varierebbe fra zero e 200 volt [fig. 184 (1)].

Quando la tensione istantanea di placca varia fra zero ed il doppio del valore dell'onda non modulata, vi è il 100 per cento di modulazione. La forma d'onda a radiofrequenza risultante è mostrata dalla figura 184 (2).

d) È importante che l'ampiezza sia fatta variare quanto più è possibile, perchè l'uscita di un rivelatore in un radioricevitore varia con le variazioni di ampiezza del segnale ricevuto. Per questo fatto, una stazione di comparativamente bassa potenza, ben modulata, produrrà spesso in un dato punto un segnale più forte di quello prodotto da una stazione più potente, ma poco modulata e situata alla stessa distanza dal ricevitore. Tuttavia vi è un limite nella

percentuale di modulazione consentita e questo limite è il 100 per cento.

e) Per comprendere più chiaramente questa limitazione del 100% di modulazione, ammettiamo che un dato trasmettitore sia

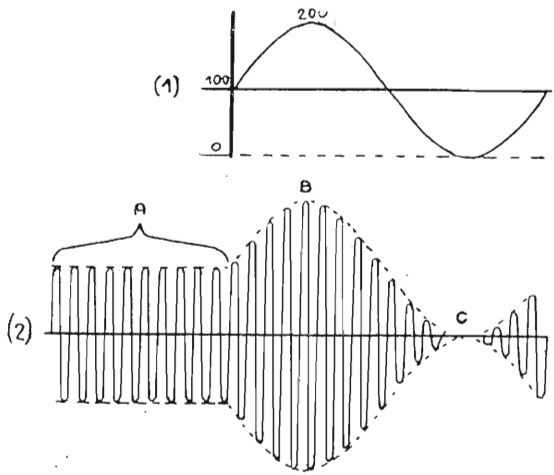


FIG. 184 - Modulazione al 100 %
(1) Valori istantanei tensione di placca.
(2) Onda a radiofrequenza modulata.

effettivamente modulato al 150 per cento. Con una tensione continua di 100 volt, questa modulazione richiederebbe una tensione audio di 150 volt. La tensione di placca, allora, nell'escursione positiva raggiunge il valore massimo di 250, mentre nell'escursione negativa, va a zero, scende a meno 50 volt e quindi ritorna nuovamente a zero [fig. 185 (1)]. Durante l'escursione da zero a 250 volt e quindi a zero, fluisce la corrente di placca. Ma durante l'escursione da zero a meno 50 volt e quindi ancora a zero, non fluirà corrente di placca o ne passerà pochissima.

Durante questo periodo la trasmissione sarebbe effettivamente interrotta. Questa condizione produce un'onda a radiofrequenza sovramodulata [figura 185 (2)]. L'onda portante non modulata è mostrata in *A* nella figura 185 (2). Con il modulatore

in funzionamento, l'onda a radiofrequenza crescerebbe al valore mostrato in *B*; essa allora decresce a zero. Ma nella regione *C* la tensione di placca sarebbe negativa e non vi sarebbe uscita dal tubo. Questa sovramodulazione produce pertanto distorsione nel segnale ricevuto. Essa si verifica quando la tensione audio supera la tensione continua applicata alla placca dell'amplificatore a radiofrequenza.

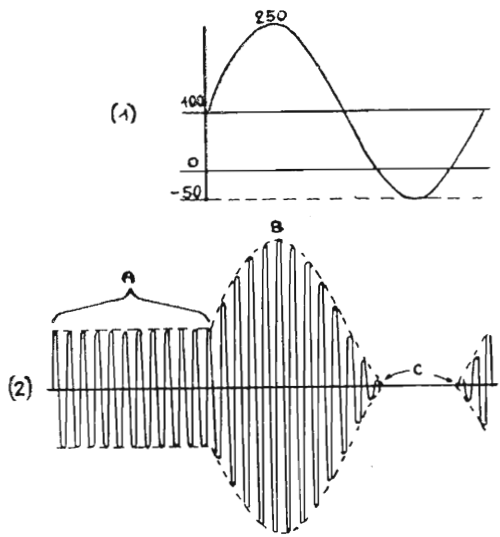


FIG. 185 - Sovramodulazione.
(1) Valori istantanei tensione placca.
(2) Onda a radiofrequenza modulata.

116. **Bande laterali.**

a) Le figure 183 e 184 rappresentano graficamente delle onde a radiofrequenza modulate a differenti percentuali. Una tale onda modulata è effettivamente una combinazione di parecchie frequenze. Non è possibile dire, guardando semplicemente un'onda, quali sono le frequenze che combinate riproducono la sua forma. Tuttavia, queste frequenze possono essere determinate a mezzo di procedimenti matematici.

Come esempio pratico, se la portante a radiofrequenza è di 100 chilocicli e l'audiofrequenza è 1000 cicli ossia di 1 chilociclo, l'onda conterrà le seguenti frequenze:

Frequenze fondamentali	Seconda armonica	Frequenza somma	Frequenza differenza
100 kc	200 kc	100 kc	99 kc
1 kc	2 kc		

Oltre alla seconda, sono prodotte altre armoniche, ma esse sono molto deboli e facilmente eliminabile come sarà descritto più oltre.

Tutte queste frequenze sono presenti nel circuito di placca dell'amplificatore finale a radiofrequenza. Ma il circuito di placca è accordato in maniera poco selettiva a 100 chilocicli, per cui soltanto la frequenza di 100 chilocicli, 101 chilocicli e 99 chilocicli andranno nell'antenna attraverso il circuito d'accoppiamento d'antenna. Il resto delle frequenze sviluppate non saranno trasmesse. Così, invece di trasmettere soltanto una frequenza, l'antenna trasmette tre frequenze molto vicine fra di loro. Queste tre frequenze possono essere rappresentate con le forme d'onda disegnate nella figura 186.

b) Queste frequenze aggiuntive sono chiamate *frequenze delle bande laterali* o semplicemente *bande laterali*. Cone indicato dalla figura 186, queste bande laterali sono separate dalla portante (100 chilocicli) dal valore dell'audiofrequenza (1 chilociclo). Così, se l'audiofrequenza fosse di 2 chilocicli, le bande laterali sarebbero rispettivamente di 98 chilocicli e di 102 chilocicli. Più alta è la frequenza audio di modulazione e più distanziate saranno le bande laterali dell'onda principale portante.

c) Generalmente, sono usate molte audiofrequenze per modulare l'onda portante. Vi sarà pertanto una coppia di frequenze

(una superiore ed una inferiore) per ciascuna audiofrequenza e quindi una intera banda o gruppo di frequenze risultanti dalla modulazione in bassa frequenza. La rappresentazione grafica di una tale portante modulata è data dalla figura 187, e la natura

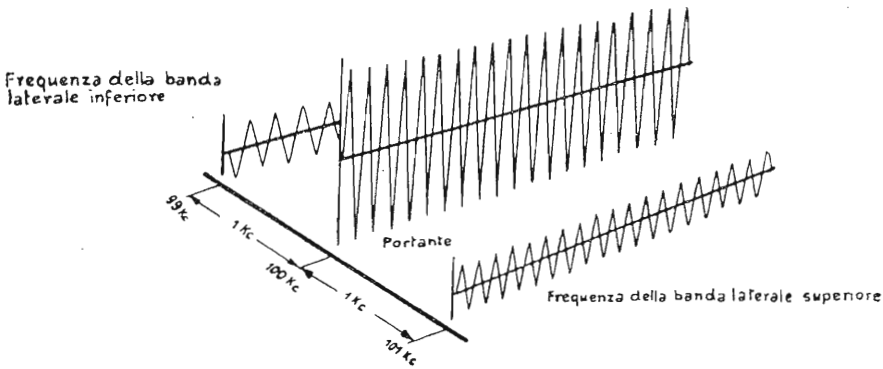


FIG. 186 - Frequenze dell'onda portante e delle sue bande laterali.

complessa degli impulsi della parola può essere desunta da questa onda. Il grafico della figura 187 è la forma d'onda risultante dall'aggiunta delle bande laterali all'onda portante.

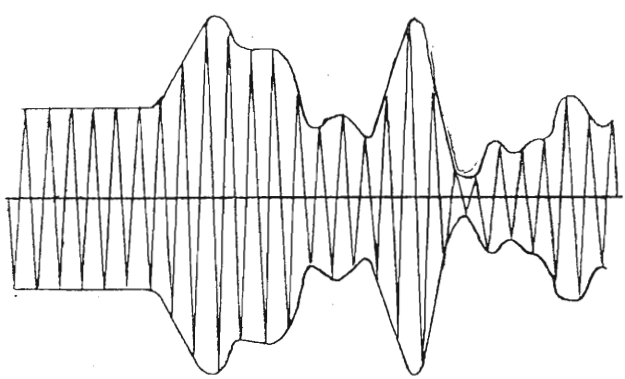


FIG. 187 - Onda radio modulata con la voce.

d) Se il modulatore di un trasmettitore radiotelefonico fosse disinserito, continuerebbe ad essere trasmessa la portante prodotta dall'amplificatore di potenza a radiofrequenza. Tuttavia, non appena è inserito il modulatore e la portante a radiofrequenza

è variata dalla modulazione, vengono originate le frequenze delle bande laterali. Da ciò si vede che l'onda modulata richiede dall'alimentazione più potenza di quella della sola onda portante. La potenza aggiuntiva è fornita dallo stadio modulatore ed appare sotto la forma di bande laterali.

117. Relazioni di potenza nel trasmettitore modulato.

a) L'importo di potenza richiesta per modulare un trasmettitore dipende dal grado e tipo di modulazione. Per modulare una portante al 100 per cento con una singola onda sinoidale ad audiofrequenza, occorre un audiopotenza uguale a metà della potenza della portante a radiofrequenza. Ciò perchè con il 100 per cento di modulazione, l'ampiezza di ciascuna banda laterale è la metà dell'ampiezza della portante. La potenza è proporzionale al quadrato della corrente; pertanto, ciascuna banda laterale, che trasporta una metà della corrente di quella della portante, richiede un quarto di potenza. Ne segue che la potenza richiesta con la modulazione è una volta più la metà della potenza normale non modulata. Usando modulazione vocale, il maggior numero delle componenti ad audiofrequenza non modulerà la portante al 100 per cento, cosicchè l'aumento di potenza per la modulazione vocale è considerevolmente minore di quella spettante ad un singolo tono di modulazione. Poichè la potenza aumenta durante la modulazione, l'indicazione di un amperometro d'antenna aumenta quando il trasmettitore è modulato.

b) Un amplificatore a radiofrequenza modulato deve manipolare delle correnti di punta che hanno ampiezza di valore doppio di quella dell'onda normale (non modulata). Ciò significa che durante la modulazione, un amplificatore deve essere capace di manipolare una potenza sino a quattro volte maggiore di quella che esso dissipa durante gli intervalli di regime della portante non modulata. Per questa ragione, in un trasmettitore che è progettato per servizio sia in onde continue che radiotelefonico, gli stadî amplificatori modulati lavorano sempre con potenza d'uscita della portante ridotta quando funzionano in fonia.

118. **Metodi di modulazione.**

a) Vi sono vari metodi di modulazione. Il tipo più comune è il metodo per cui la tensione modulante ad audiofrequenza può essere applicata alla *placca* di uno degli amplificatori a radiofrequenza del trasmettitore per fare variare l'uscita della portante in accordo con l'audiofrequenza. Questo metodo popolare è conosciuto con il nome di *modulazione di placca.*

L'applicazione della tensione ad audiofrequenza alla griglia controllo dell'amplificatore a radiofrequenza, prende il nome di *modulazione di griglia* o di *modulazione per polarizzazione di griglia.* Un amplificatore di potenza a pentodo può essere modulato applicando l'audiofrequenza alla sua griglia soppressore; ciò si chiama *modulazione di soppressore.* La *modulazione di griglia schermo* può essere compiuta impiegando un tetrodo. La *modulazione di catodo,* in cui la tensione audio è applicata nel circuito del catodo, è una combinazione della modulazione di placca e di griglia.

b) Modulando lo stadio finale a radiofrequenza di un trasmettitore radiotelefonico si ha la *modulazione su alto livello,* giacchè la modulazione viene effettuata nel più alto livello di potenza del sistema.

Se il processo di modulazione ha luogo in uno stadio intermedio con uno o parecchi amplificatori di potenza più elevata che lo seguono, si ha la *modulazione su basso livello.* Nella modulazione su basso livello, gli amplificatori a radiofrequenza, che seguono lo stadio modulato, sono fatti funzionare come amplificatori lineari e cioè in maniera tale che i loro potenziali alternativi d'uscita riproducano fedelmente i potenziali di griglia applicati, ossia senza distorsioni. Nella modulazione su alto livello, l'amplificatore di potenza finale a radiofrequenza è sempre fatto funzionare come un amplificatore in classe *C*.

c) Il metodo di modulazione viene riferito all'elettrodo del tubo amplificatore di potenza a radiofrequenza a cui è applicata la tensione modulante ad audiofrequenza.

119. **Modulazione di placca.**

a) L'applicazione della potenza ad audiofrequenza al circuito di placca di un amplificatore di potenza a radiofrequenza costituisce la modulazione di placca.

Un amplificatore che impiega modulazione di placca è molto più efficiente di quello che impiega modulazione di griglia o qualsiasi altra forma di modulazione. Un altro vantaggio della modulazione di placca è la facilità con cui possono essere eseguite le opportune regolazioni nel trasmettitore. Inoltre nell'amplificatore di potenza a radiofrequenza vi sono, per un dato valore di potenza della portante, perdite di placca minori di quelle che si verificano con le altre forme di modulazione, poichè il rendimento di placca è più alto. La potenza aggiuntiva, irradiata sotto forma di bande laterali, è fornita dal modulatore. Questo tipo di modulazione è maggiormente usato di qualunque altro tipo.

b) Il metodo più semplice per modulare di placca un amplificatore a radiofrequenza è realizzato a mezzo di trasformatore d'accoppiamento.

Nel circuito di figura 188, l'uscita ad audiofrequenza dello stadio modulatore è applicata, attraverso il trasformatore *T*, al circuito di placca dell'amplificatore di potenza. La tensione che appare ai capi del secondario *S* del trasformatore è una tensione audio; come tale, essa è una tensione alternativa che agisce prima in una direzione e successivamente nell'altra. Questa tensione è in serie con la tensione continua di alimentazione che agisce in una sola direzione. Pertanto, in un dato istante, la tensione alternativa e la tensione continua agiranno nella stessa direzione e la tensione totale aumenterà. Ma, in un istante successivo, la tensione alternativa si sarà invertita e le due tensioni saranno in opposizione fra di loro. Quindi la tensione totale decrescerà. Vi sarà pertanto un aumento e abbassamento alternativo della tensione totale con frequenza audio. Poichè questa tensione totale è la tensione di placca ed è inserita fra la placca ed il catodo dell'amplificatore di potenza a radiofrequenza, l'importo di variazione in ampiezza

dell'onda a radiofrequenza dipende dai valori relativi della tensione continua e di quella audio.

c) La placca del tubo amplificatore a radiofrequenza può essere modulata secondo un altro metodo che impiega un induttore ossia una bobina di arresto (*vedere* fig. 189). Entrambe le placche del tubo modulatore e dell'amplificatore di potenza a radiofrequenza ottengono la loro tensione continua di placca attraverso la bobina d'arresto a nucleo di ferro L, chiamata *induttore di modulazione*. Con l'aumentare ed il diminuire della corrente di placca del modulatore (ad audiofrequenza) sarà sviluppata una

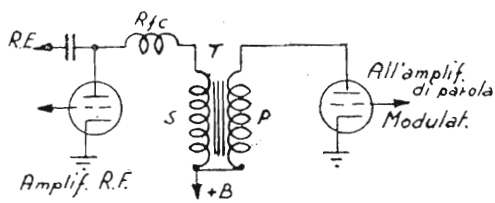


FIG. 188 - Circuito modulatore con accoppiamento a trasformatore.

tensione attraverso L proporzionale alla corrente che l'attraversa. Questa tensione è sviluppata nella bobina d'arresto nel seguente modo. Quando aumenta la corrente di placca proveniente dal modulatore, l'aumento del campo magnetico della bobina induce una tensione che tenderà ad opporsi alla variazione di corrente. Questa tensione ridurrà la tensione totale applicata alla placca dell'amplificatore a radiofrequenza, riducendo pertanto la sua corrente di placca. Quando diminuisce la corrente di placca del modulatore, questo stesso campo magnetico decrescerà e indurrà ancora una tensione. Questa tensione concorda con la tensione continua di placca dello stadio modulato e quindi farà aumentare la sua corrente di placca. Pertanto, vi saranno una tensione ed una corrente alternata nel circuito di placca dello stadio modulato, che ne fanno variare l'uscita in accordo con il segnale audio. È da notare che quando la corrente del modulatore è in aumento, la corrente dello stadio modulato è in diminuzione e viceversa. Per

effetto di questa azione, la corrente dell'amperometro M_A rimarrà praticamente costante. Questo sistema è quindi chiamato *sistema a corrente costante.*

d) Poichè il circuito ad accoppiamento con bobina di arresto di figura 189 richiede che il tubo modulatore operi come amplificatore di classe A, è impossibile di sviluppare abbastanza tensione ai capi dell'induttore di modulazione per far variare la tensione sulla placca dell'amplificatore a radiofrequenza modulato fra lo

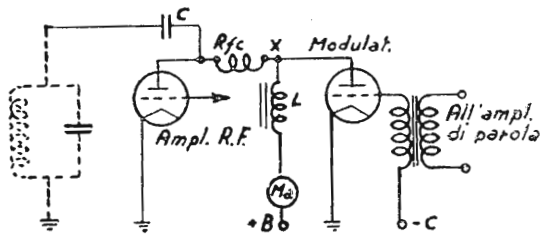


FIG. 189 - Circuito di modulazione con accoppiamento ad impedenza (corrente costante).

zero ed il doppio della sua tensione continua normale. È pertanto impossibile poter ottenere il 100 per cento di modulazione con il circuito mostrato nella figura 189. Tuttavia, con un resistore connesso nel circuito come è indicato dalla figura 190, può essere ottenuto il 100 per cento di modulazione. Lo scopo del resistore R_1 è di determinare una caduta di tensione nel circuito di placca dell'amplificatore a radiofrequenza. Il modulatore opera allora ad una tensione più alta di quella dello stadio sotto modulazione. Con questa tensione più bassa sulla placca dell'amplificatore a radiofrequenza, non è necessario sviluppare molta tensione ai capi della bobina d'arresto per ottenere il 100 per cento di modulazione. Il condensatore è connesso ai capi del resistore per dar passaggio alla tensione ad audiofrequenza attorno al resistore, in modo da non abbassare il segnale ad audiofrequenza per effetto del resistore. Lo scopo della bobina d'arresto per la radiofrequenza, *RFC*, è di non fare andare nel modulatore le correnti a radiofrequenza.

e) Un altro metodo per ottenere il 100 per cento di modulazione con il sistema a corrente costante consiste nell'impiegare un autotrasformatore, come mostrato nella figura 191. In questo circuito, una piccola tensione sviluppata nella sezione modulatore della bobina dell'autotrasformatore produrrà una variazione di tensione più grande applicata alla placca dello stadio modulato.

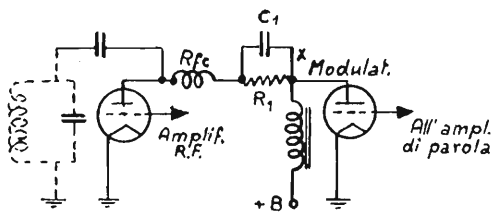


FIG. 190 - Circuito con accoppiamento ad impedenza modificato per il 100 % di modulazione.

Questo sistema di modulazione ha pure il vantaggio di utilizzare l'intera tensione dell'alimentatore per l'alimentazione di placca dello stadio modulato.

f) Un confronto dei circuiti delle figure 188 e 191 mostra che la sola differenza fra i due è che nella figura 188 sono usati due

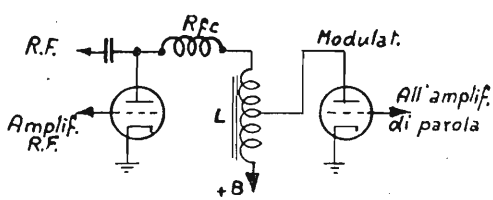


FIG. 191 - Circuito modulatore di placca con autotrasformatore.

avvolgimenti invece di uno. L'impiego di un trasformatore ad audiofrequenza a due avvolgimenti rende possibile l'uso di un amplificatore in « push–pull » in classe *B* che dà una potenza d'uscita molto più grande e con minore distorsione di quella di un amplificatore in classe *A*. L'impiego di tale circuito consentirà un risparmio di potenza, poichè non fluisce corrente di placca fino a che gli

impulsi della voce non raggiungono le griglie dei tubi. Un circuito modulatore tipico in «push-pull» di classe *B* è mostrato in figura 192.

g) La teoria della modulazione di placca è importante per una completa comprensione dell'azione della tensione modulante nello stadio amplificatore di potenza a radiofrequenza. Si genera pertanto una tensione audio che corrisponde sotto ogni riguardo, ad eccezione che in intensità, alle frequenze del suono esistenti al microfono; questa tensione viene inserita nel circuito di placca dell'amplificatore di potenza a radiofrequenza. La variazione della

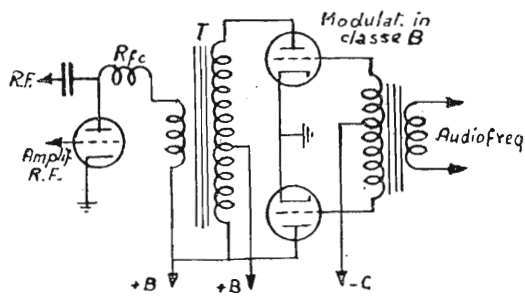


FIG. 192 - Circuito modulatore con «push-pull» in classe *B*.

tensione anodica dell'amplificatore a radiofrequenza determinerà una variazione corrispondente della potenza d'uscita del trasmettitore. Una tensione audio indistorta è utile soltanto se la potenza di uscita a radiofrequenza può essere fatta variare in passo con la tensione di placca.

Il solo modo per effettuare ciò è di far funzionare lo stadio come un amplificatore in classe *C* e di porre un intenso segnale di eccitazione sulla griglia del tubo. La ragione di fare ciò, risulta dal seguente ragionamento. L'uscita del trasmettitore è applicata, dal circuito accordato di placca dell'amplificatore di potenza a radiofrequenza, all'antenna. L'uscita del circuito accordato dipende dall'importo di corrente oscillante (radiofrequenza) che fluisce in esso. Poichè il circuito accordato è eccitato da impulsi di corrente, la corrente oscillante, e quindi l'uscita in ciascun istante, dipenderà dalla grandezza di ciascun impulso di corrente di placca. Per

poter far variare l'uscita a frequenza audio, gli impulsi di corrente di placca debbono variare in grandezza ad un ritmo audio. Poichè la tensione di placca dell'amplificatore di potenza a radiofrequenza è variabile a frequenza audio, deve essere assicurato che con il variare della tensione di placca varî proporzionalmente la corrente di placca. In un tubo a vuoto, la corrente di placca è controllata dalla tensione di griglia come pure dalla tensione di placca. Se la griglia è fortemente eccitata, per cui raggiunge elevati valori positivi, essa consentirà il flusso della massima corrente di placca e questa corrente di placca sarà limitata soltanto dalla tensione di placca. Se la tensione di placca è alta, fluirà una forte corrente. La griglia sufficientemente positiva non interferisce con questa azione. Se la tensione di placca è bassa, la corrente di placca sarà pure bassa. Così, la tensione di griglia controllerà la frequenza degli impulsi di corrente di placca, poichè la corrente di placca fluirà soltanto nelle punte positive di ciascun ciclo di griglia. La grandezza di ciascun impulso, o l'importo di corrente che fluira ciascuna volta che la tensione di griglia supera l'interdizione, dipenderà dalla tensione di placca in quell'istante. Quando la tensione di placca è in aumento ciascun impulso sarà più intenso di quello che lo precede. Quando la tensione di placca è in diminuzione, ciascun impulso sarà più piccolo di quello che lo precede. Questi impulsi di corrente di placca sono applicati al circuito accordato e determinano in esso una corrente oscillante. Se gli impulsi di corrente di placca sono grandi, la corrente nel circuito serbatoio sarà grande. Se gli impulsi di corrente di placca sono piccoli, essi determinano soltanto una piccola corrente nel circuito serbatoio. Pertanto, l'uscita a radiofrequenza varierà con gli impulsi di corrente di placca e quindi con le variazioni audio della tensione di placca.

120. **Modulazione di griglia.**

a) In un trasmettitore che impiega modulazione di griglia, le tensioni ad audiofrequenza fanno variare la polarizzazione di griglia all'amplificatore di potenza a radiofrequenza. Questa variazione nella polarizzazione di griglia fa variare a sua volta la potenza

di uscita dell'amplificatore a radiofrequenza determinando la generazione di un'onda modulata. Questo metodo è pure conosciuto con il nome di modulazione per polarizzazione di griglia.

b) Un circuito che impiega modulazione di griglia è mostrato dalla figura 193. Un trasformatore di modulazione è posto in serie nel conduttore di ritorno di griglia dell'amplificatore di potenza a radiofrequenza. La tensione ad audiofrequenza (proveniente da un amplificatore modulante) si somma o si sottrae alla tensione

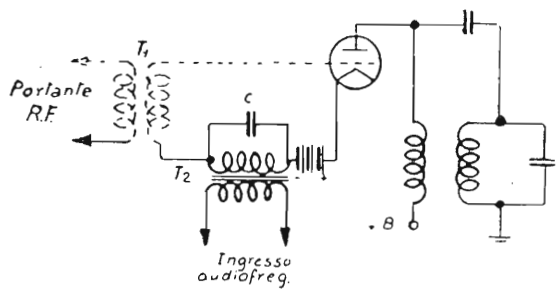


FIG. 193 - Circuito per modulazione di griglia.

fissa di polarizzazione di griglia, e così controlla la potenza d'uscita dell'amplificatore a radiofrequenza. La polarizzazione di griglia ha usualmente un valore fisso ed è ottenuta a mezzo di una batteria o di un'alimentazione separata. Il condensatore *C*, serve per dar passaggio alle correnti a radiofrequenza attorno al secondario del trasformatore di modulazione (*vedere* fig. 193).

c) Il tubo modulatore deve essere fatto operare come un amplificatore ad audiofrequenza in classe *A* ed è sufficiente per la modulazione della griglia. Tuttavia, la potenza d'uscita della portante a radiofrequenza del trasmettitore che è modulato di griglia è circa un quarto di quella del trasmettitore che è modulato di placca. Dato questo basso rendimento e la difficoltà di conseguire con la modulazione di griglia elevati gradi di modulazione, essa è raramente impiegata nei complessi trasmittenti militari.

121. Modulazione di griglia schermo.

Nello studio del tetrodo (par. 43) è stato visto che una piccola variazione di tensione sullo schermo produce una forte variazione nella corrente di placca. È evidente, pertanto, che può essere effettuata la modulazione ponendo il trasformatore di modulazione in serie nel conduttore di griglia schermo. Tuttavia, questo metodo limita la percentuale di modulazione ad un valore basso, poichè la relazione della variazione di tensione di schermo alla variazione di corrente di placca è lineare soltanto per un piccolo tratto. Se entrambe le tensioni di placca e di schermo sono contemporaneamente modulate, è possibile avvicinarsi al 90 per cento di modulazione senza la produzione di indesiderate distorsioni. Un circuito di questa natura è mostrato dalla figura 194. Da

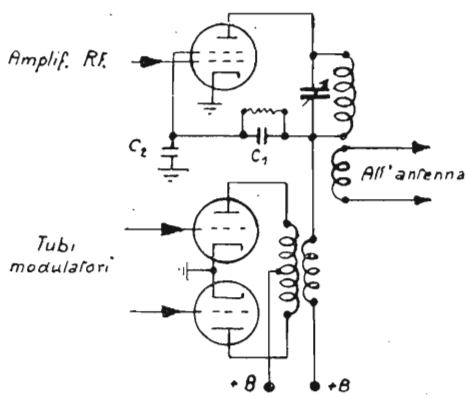


FIG. 194 - Circuito per modulazione di griglia-schermo.

notare che il resistore di caduta di schermo è connesso al lato placca dell'avvolgimento secondario del trasformatore di modulazione, cosicchè lo schermo e la placca conservano lo stesso rapporto fra le loro tensioni per tutte le variazioni della tensione di placca. Il condensatore C_1 cortocircuita la tensione audio ai capi del resistore di caduta di schermo, mentre C_2 è l'usuale condensatore di fuga dello schermo.

122. Modulazione di griglia soppressore.

La modulazione può essere ottenuta applicando una tensione ad audiofrequenza alla griglia soppressore di un pentodo che è fatto funzionare in classe *C*. Una variazione nella tensione di polarizzazione sulla griglia soppressore, varierà l'uscita a radiofrequenza del pentodo e, così, l'applicazione della tensione audio fornisce un semplice metodo per ottenere la modulazione. È difficile ottenere il 100 per cento di modulazione benchè si possa arrivare a circa il 90 per cento con buona linearità. Un circuito tipico di modulazione di griglia soppressore è mostrato dalla figura 195.

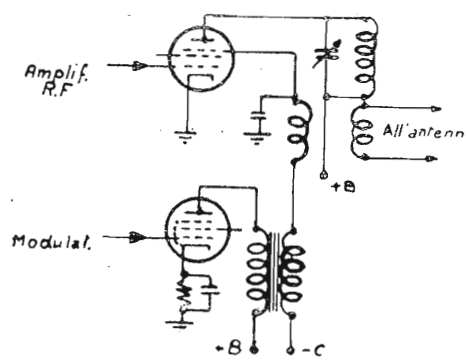


FIG. 195 - Circuito di modulazione di griglia-soppressore.

123. Modulazione effettuata con un solo tono.

a) Quando si stanno ricevendo i segnali radiotelegrafici ad onde continue, l'altezza del suono nella cuffia dipende dalla differenza fra la frequenza del segnale in arrivo e la frequenza dell'oscillatore eterodina od, in altre parole, dalla frequenza di battimento. Se varia la frequenza del trasmettitore ad onde continue, varierà l'altezza della nota ricevuta. Se lo scorrimento della frequenza del trasmettitore è molto grande, il segnale ricevuto può divenire non udibile. Sotto queste condizioni, la ricezione del segnale ad onde continue, diviene molto difficile. Un rimedio

evidente consiste nello stabilizzare la frequenza del trasmettitore, ma ciò non è sempre praticabile o possibile. In tal caso, la comunicazione telegrafica può essere mantenuta impiegando un'onda modulata da un tono. Questa trasmissione a tono modulante è largamente impiegata negli apparecchi militari.

In questa trasmissione, la portante a radiofrequenza è modulata con una frequenza audio fissa di circa 1000 cicli per secondo. L'uscita del trasmettitore è manipolata nello stesso modo come per la trasmissione ad onde continue. Poichè è generalmente usato un audio oscillatore come sorgente di tono, l'ampiezza del l'onda d'uscita a radiofrequenza è praticamente costante e la modulazione può essere del 100 per cento. La modulazione telegrafica effettuata a mezzo di un tono raggiunge una portata leggermente più grande di quella spettante alla modulazione vocale effettuata sul medesimo trasmettitore. Tuttavia la portata di una trasmissione modulata con tono è sempre inferiore a quella conseguita con il medesimo trasmettitore in onde continue.

b) Quando si riceve la trasmissione modulata con tono, l'accordo del ricevitore deve essere più piatto di quando si esegue la ricezione in onde continue. Il rivelatore deve essere mantenuto nello stato di non oscillazione.

124. **Trasmettitori ad alta frequenza.**

a) Sono considerate frequenze radio molto alte (v.h.f.) quelle superiori a 30 mc/s ed inferiori a 300 mc/s. Tutti i principî di modulazione e di trasmissione già discussi si applicano ai trasmettitori progettati per queste frequenze molto alte. Tuttavia, vi sono altre cognizioni da tener presente quando si lavora su questa gamma di frequenze. Un tratto rettilineo di filo ordinario, ha la proprietà di possedere sia induttanza che capacità. Queste due proprietà non portano complicazioni alle radiofrequenze più basse, giacchè le induttanze e le capacità concentrate usate da queste frequenze sono grandi in confronto a quelle introdotte dai conduttori del circuito. Tuttavia, quando si lavora con le alte frequenze, l'induttanza e la capacità di sia pure corte lunghezze di filo possono

rappresentare una grande parte della induttanza e della capacità totale dei singoli circuiti. Pertanto la filatura deve essere eseguita con tratti di conduttori della minore lunghezza possibile. Questo fatto importante deve essere tenuto in mente quando si sostituiscono delle parti. Inoltre deve essere posta speciale cura nell'esecuzione di buone connessioni. Una connessione mal saldata introduce un'alta resistenza che può bloccare il funzionamento del circuito. Le comunicazioni con frequenze molto alte sono discusse nel Capitolo XV.

b) Un'altra considerazione importante è quella relativa all'effetto pelle, che è la tendenza degli elettroni a viaggiare lungo la superficie dei conduttori. Ciò ha pure l'effetto di introdurre resistenza in un circuito. Per minimizzare questo effetto, che aumenta con l'aumentare della frequenza, sono usati come conduttori fili di grandi dimensioni e tubi di rame.

c) Il funzionamento dei trasmettitori alle ultre alte frequenze (u.h.f.), ossia quelle superiori a 300 megacicli, diviene ancora più instabile e critico.

125. **Regolazione degli amplificatori modulati.**

a) La messa a punto o la regolazione appropriata di uno stadio a radiofrequenza modulato, determina la sua efficacia per le comunicazioni da effettuare a mezzo di trasmissione radiotelefonica, per una data portata. È importante realizzare il più alto grado di modulazione, senza arrivare alla sovramodulazione. Una regola generale che può essere usata in molti casi consiste nell'osservare la corrente di placca nello stadio a radiofrequenza che si sta modulando. L'audio potenza allo stadio modulato può essere aumentata sino al punto in cui la corrente di placca incomincia a fluttuare. Quando lo stadio a radiofrequenza modulato è regolato appropriatamente, vi sarà piccola variazione nello spostamento dell'indice nello strumento che misura la corrente di placca. Questo spostamento non deve essere superiore a circa il 5 per cento.

b) Un altro controllo per l'appropriato funzionamento dello stadio modulato si può avere osservando lo strumento che misura la corrente d'antenna. La potenza che è aggiunta alla potenza della portante dal modulatore appare come potenza nelle bande laterali e non nella stessa portante. Per questa ragione, quando un trasmettitore radiotelefonico è prima accordato senza essere modulato, la corrente d'antenna sarà quella relativa alla sola potenza portante. Se il trasmettitore è successivamente modulato a mezzo di un'onda pure sinoidale (per esempio ottenuta da un audio oscillatore), la corrente d'antenna aumenterà approssimativamente del 22 per cento per il 100 per cento di modulazione. Quando non è disponibile un oscillatore audio, gli aggiustamenti possono essere fatti con la voce emettendo una nota continua davanti al microfono.

126. **Circuito di un trasmettitore radiotelefonico.**

a) Il circuito semplificato di un trasmettitore militare è mostrato dalla figura 196. Questo è un trasmettitore di potenza media progettato per essere impiegato su aerei, su automezzi e per equipaggiamenti terrestri. Esso è capace di trasmettere onde continue, onde continue modulate con tono e segnali modulati dalla voce. Lo scambio da un tipo di modulazione all'altro è effettuato a mezzo di un dispositivo di commutazione con il controllo montato sul pannello frontale del complesso. Nel circuito di figura 196, il commutatore è posto nella posizione relativa alla modulazione vocale. La sezione a radiofrequenza di questo trasmettitore impiega due tubi in un circuito oscillatore pilota ed in un amplificatore di potenza. Un microfono alimentante un singolo tubo amplificatore audio che, a sua volta, eccita una coppia di tubi modulatori, fa parte della sezione audiofrequenza. La maggior parte degli avvolgimenti relativi all'alimentazione di potenza sono stati omessi, per semplicità, dal diagramma di figura 196.

b) Il tubo V_1 è il tubo oscillatore che impiega un semplice circuito oscillatore dei tipo Hartley. La induttanza L_1 ed il condensatore C_1 formano il circuito serbatoio dell'oscillatore.

La sezione di placca A della bobina è connessa fra placca e filamento attraverso C_2, la massa, e la presa centrale sul secondario del trasformatore del filamento. La bobina d'arresto L_2 è una bobina di arresto per la radiofrequenza per effettuare il disaccoppiamento della placca. La sezione di griglia B della bobina L_1 è connessa fra griglia e filamento attraverso C_3 e C_2, la massa e la presa centrale sul secondario del trasformatore del filamento

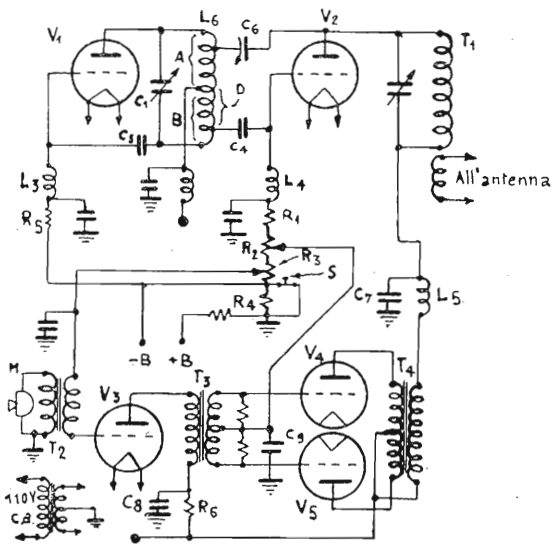


FIG. 196 - Trasmettitore radiotelefonico militare tipico.

mostrata nell'angolo sinistro di base della figura. Il resistore R_5 è il resistore per la polarizzazione di griglia dell'oscillatore. La bobina L_3 d'arresto per la radiofrequenza offre un'alta impedenza alle correnti a radiofrequenza nel circuito di griglia dell'oscillatore che alimenta la tensione continua.

c) Quella parte della tensione sviluppata ai capi della sezione D della bobina del circuito accordato dell'oscillatore, è applicata fra la griglia ed il filamento del tubo amplificatore di potenza V_2 attraverso i condensatori C_4, C_2, la massa e la presa centrale sul secondario del trasformatore del filamento. Il condensatore C_4

è connesso a poche spire dall'estremità della bobina L_1, onde sia ridotto l'effetto di carico sull'oscillatore, contribuendo pertanto alla sua stabilità.

Il tipo di accoppiamento usato fra l'oscillatore e l'amplificatore di potenza di questo trasmettitore, prende il nome di accoppiamento ad impedenza. La tensione di polarizzazione di normale funzionamento per il circuito di griglia dell'amplificatore di potenza è prodotta dal flusso della corrente continua di griglia attraverso i resistori R_1, R_2 ed R_3. La bobina L_4 è una bobina d'arresto per la radiofrequenza che introduce un'alta impedenza alle correnti a radiofrequenza nel circuito di griglia per l'alimentazione continua dell'amplificatore di potenza. Il condensatore C_5 è un condensatore di fuga per la radiofrequenza.

d) Gli impulsi audio creati dal microfono M sono applicati, a mezzo del trasformatore T_2, al circuito griglia–filamento del tubo amplificatore audio V_3. La polarizzazione per questo stadio è ottenuta prelevando, a mezzo presa, una parte della tensione sviluppata ai capi di R_3. Il segnale audio è sviluppato ai capi del primario dell'audio trasformatore T_3. Il condensatore C_8 dà passaggio alle audiofrequenze, ossia è un condensatore di disaccoppiamento di placca. Il resistore R_6 è un resistore di caduta di tensione e di disaccoppiamento di placca. Il segnale audio dell'amplificatore di parola è accoppiato, a mezzo di un trasformatore, al circuito griglia–filamento dei tubi modulatori in « push–pull » V_4 e V_5, operanti in classe B. Il circuito audio–griglia–filamento è completato attraverso C_9, la massa e la presa centrale sul secondario del trasformatore del filamento.

La polarizzazione di griglia per i tubi del modulatore è derivata dalla caduta di tensione ai capi di R_3 e di quella parte ai capi di R_2, determinata dalla posizione dello scorrevole su questo resistore. La corrente audio di placca del modulatore, attraversando il primario di T_4 induce una tensione audio nel secondario. Questa tensione audio è in serie con la tensione continua di placca fornita all'amplificatore di potenza a radiofrequenza V_2. La tensione audio attraverso il secondario di T_4 si sommerà e si sottrarrà alternativamente alla tensione continua di placca nell'am-

plificatore di potenza V_2, facendo così variare questa tensione in accordo con il segnale modulante. Con una tensione a radiofrequenza applicata fra griglia e filamento di V_2, la tensione sviluppata attraverso il trasformatore T_1, sarà una tensione a radiofrequenza variabile in ampiezza, in accordo con il segnale modulante. Il condensatore C_7 è un condensatore di fuga a radiofrequenza usato per fornire un cammino di bassa impedenza alla radiofrequenza, onde farla ritornare al filamento.

La bobina L_5 è una bobina di arresto per la radiofrequenza usata per impedire alla corrente a radiofrequenza di attraversare i circuiti del modulatore. L'accoppiamento fra il primario ed il secondario di T_1 è variabile, permettendo così un corretto adattamento di impedenza fra il circuito di placca dell'amplificatore di potenza e l'antenna. Il segnale a radiofrequenza modulato del secondario è quindi applicato all'antenna.

e) Il condensatore C_6 è un condensatore di neutralizzazione per l'amplificatore di potenza. Poichè V_2 è un triodo, esso oscillerebbe spontaneamente per effetto della reazione attraverso la capacità infraelettrodica del tubo.

Per impedire le oscillazioni dell'amplificatore di potenza, una parte della corrente di placca a radiofrequenza di V_2 è applicata attraverso C_6 alla sezione A di L_1, inducendo pertanto una tensione nella sezione D della bobina, che è opposta in fase alla tensione applicata al circuito di griglia attraverso la capacità infraelettrodica del tubo. Regolando appropriatamente C_6, queste tensioni saranno di eguale intensità ma di fase opposte e pertanto si cancelleranno fra di loro, impedendo al circuito di oscillare.

f) Il commutatore S rappresenta un relè che è azionato da un commutatore a pulsante, montato sull'impugnatura del microfono.

Quando l'operatore del trasmettitore ha completato la trasmissione di un messaggio, egli rilascia il pulsante del microfono ed allora il commutatore S si apre per l'azione di una molla. Il resistore R_4 diviene allora parte di un divisore di tensione connesso ai capi dell'alimentazione di tensione B e quindi un'alta

tensione apparirà attraverso ad esso. Poichè questo resistore si trova nei circuiti di griglia di tutti gli stadî, la caduta di tensione attraverso di esso è aggiunta alla polarizzazione di griglia di ciascun stadio. Questa tensione è abbastanza grande da bloccare tutti gli stadî. In questo modo il trasmettitore è reso inattivo. Quando si deve trasmettere un messaggio, l'operatore preme il bottone del microfono chiudendo cosi il commutatore S e cortocircuitando il resistore R_4. Ciò toglie la tensione bloccante i circuiti di griglia di tutti gli stadî e consente al trasmettitore di entrare nel suo normale funzionamento.

CAPITOLO XIII

MODULAZIONE DI FREQUENZA

127. Generalità.

a) Il rumore nell'uscita di un complesso ricevente radio può essere definito come un disturbo che non era presente in origine nel microfono del trasmettitore radio e che interferisce con la comprensione del messaggio in arrivo.

Il rumore può provenire da molte sorgenti, come sistemi di accensione degli automezzi, macchine elettriche industriali, atmosferici, stazioni radio interferenti, ecc. Questi disturbi sono simili in carattere ai segnali radio, appaiono in tutta la gamma delle radiofrequenze e fanno variare l'*ampiezza* dei segnali radio distorcendone l'onda. Questo fatto costituisce uno dei più grandi svantaggi delle onde modulate in ampiezza, poichè sia i disturbi industriali che quelli di origine atmosferica (statici) si compongono nell'antenna ricevente con l'onda a radiofrequenza in arrivo. Questa composizione determina un'onda a radiofrequenza che varia in ampiezza in accordo con gli impulsi statici oltre che con il segnale modulante (audio) originale. Pertanto, il segnale modulante e gli impulsi statici saranno entrambi sentiti all'uscita dell'altoparlante del ricevitore.

Per eliminare questo inconveniente, occorre escogitare qualche metodo di modulazione in cui il carattere della modulazione desiderata sia differente dalle variazioni d'ampiezza prodotte dagli impulsi statici. Questo metodo di modulazione costituisce la *modulazione di frequenza.*

b) La frequenza di un'onda portante è uguale al numero di cicli per secondo. Questa frequenza chiamata la *frequenza portante*, può essere variata di un piccolo valore su ciascun lato del suo valore medio assegnato a mezzo di un segnale (ad audiofrequenza) modulante. Queste variazioni di frequenza possono essere rivelate a mezzo di speciali ricevitori radio progettati per rispondere alle

onde a radiofrequenza modulate di frequenza. Le variazioni di frequenza di un trasmettitore vengono prodotte, entro certi specificati limiti, in accordo con la parola da trasmettere. L'ampiezza della portante a radiofrequenza rimane costante, con o senza modulazione. Un ricevitore radio che è sensibile soltanto alle variazioni di frequenza della portante in arrivo e che non discrimina le variazioni d'ampiezza, è usato per ricevere questi segnali modulati di frequenza. Poichè le interferenze dovute agli statici ed agli altri disturbi provocano una variazione effettiva nell'ampiezza di una portante in arrivo che è molto più grande di quella prodotta nella sua frequenza, questo sistema di comunicazione fornisce una ricezione di altissima qualità, con assenza quasi totale di rumore.

c) La differenza essenziale fra modulazione di frequenza (f. m.) e modulazione d'ampiezza (a. m.) è mostrata dalla figura 197. In questa figura (1) rappresenta la portante a radiofrequenza

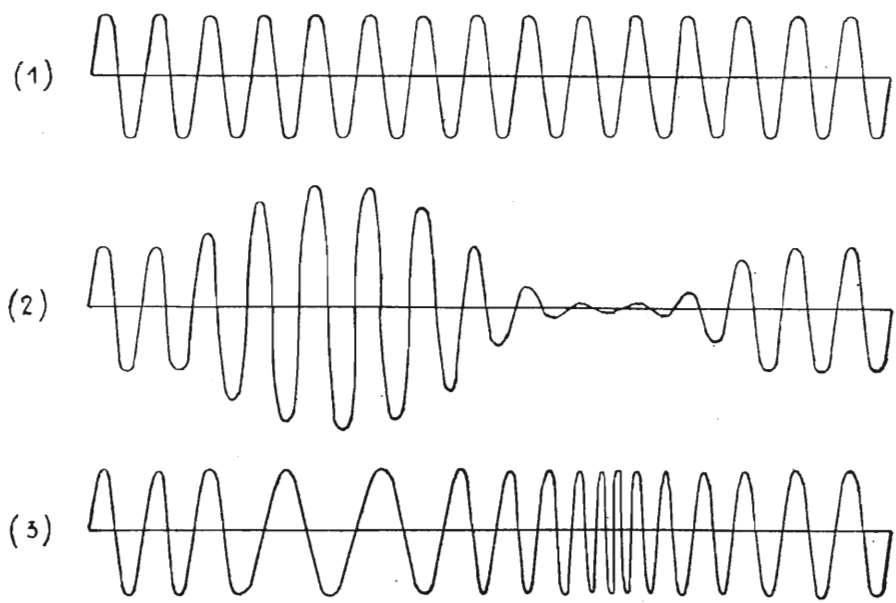


FIG. 197 - Confronto fra modulazioni d'ampiezza e di frequenza.
(1) Onda portante a radiofrequenza non modulata.
(2) Onda modulata d'ampiezza.
(3) Onda modulata di frequenza.

non modulata; (2) mostra l'onda risultante modulando in ampiezza la portante; (3) mostra l'onda risultante modulando in frequenza la portante. In (2), durante il periodo di modulazione, l'ampiezza aumenta e diminuisce in accordo con un segnale ad audiofrequenza impresso. In (3), durante il periodo di modulazione, la frequenza aumenta e diminuisce in accordo con il segnale audio, ma l'ampiezza rimane costante.

128. **Principî di trasmissione F. M.**

a) La forma più semplice di un modulatore di frequenza è data da un microfono a condensatore che è posto in parallelo ad un circuito oscillatore accordato [fig. 198 (1)]. Una discussione sul funzionamento di questo semplice circuito aiuta a spiegare i principî fondamentali di tutti i trasmettitori a modulazione di frequenza.

b) Il circuito mostrato dalla figura 198 (1) è quello di un oscillatore tipo Hartley alimentato in parallelo che è modificato connettendo un microfono a condensatore *M* in parallelo al condensatore *C* del circuito accordato. Elettricamente, questo microfono non è altro che due placche di un condensatore, una delle quali è la membrana. Le onde sonore colpendo il microfono comprimono e rilasciano la membrana, facendone così variare la capacità, giacchè il valore della capacità di qualunque condensatore dipende, in parte, dalla distanza fra le due placche. Sarà ricordato che la frequenza di oscillazione di un oscillatore può essere variata cambiando, sia l'induttanza, sia la capacità del suo circuito accordato.

In questo caso, una variazione nella capacità del microfono fa spostare la frequenza risonante dell'oscillatore alternativamente a frequenze superiori ed inferiori alla frequenza originale o *frequenza di riposo*. Questo spostamento di frequenza si verifica mentre si sposta il diaframma del microfono.

c) Quando il mezzo ciclo positivo *A* dell'onda sonora di figura 198 (2) colpisce il diaframma *D* del microfono (mostrato

in iscala ingrandita alla sinistra di figura 198 per poterlo meglio esaminare), esso fa spostare il diaframma verso l'interno, dalla sua posizione di riposo alla posizione *A*. Poichè la distanza fra *D* ed *E* è diminuita, la capacità delle placche è corrispondente-

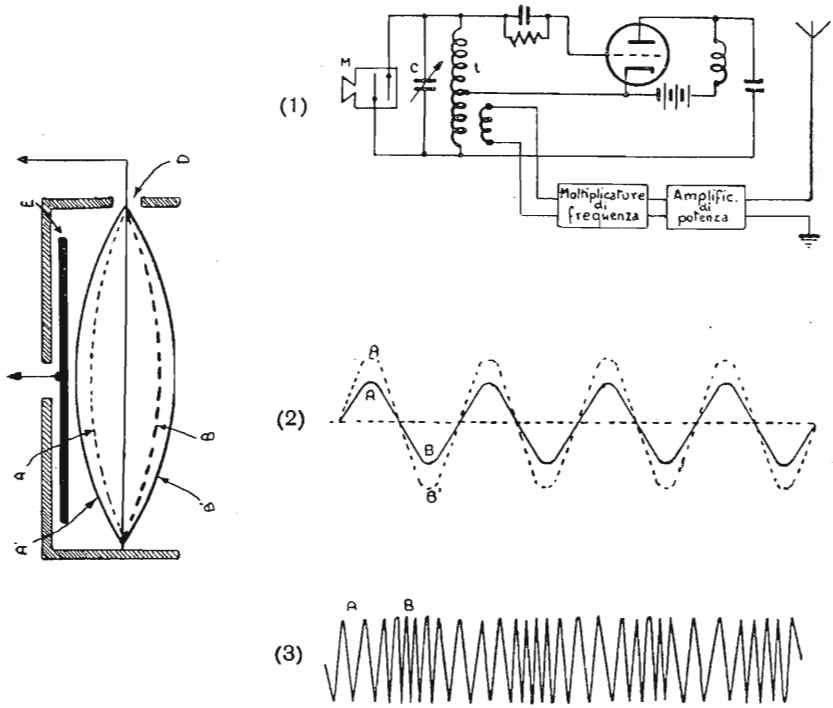


FIG. 198 - Circuito semplice di modulazione di frequenza.

mente aumentata e la frequenza dell'oscillatore è diminuita rispetto alla frequenza di riposo, come mostrato in *A* di figura 198 (3).

Alla fine del primo mezzo ciclo, il diaframma ritorna alla sua posizione di riposo e la frequenza dell'oscillatore è ancora la frequenza di riposo. Durante il mezzo ciclo negativo *B* dell'onda

audio [figura 198 (2)], il diaframma si sposta alla posizione *B*, aumentando la distanza fra le placche con una conseguente diminuzione di capacità ed aumento della frequenza dell'oscillatore, come mostrato in *B* di figura 198 (3). Alla fine dell'alternanza, il diaframma *D* ritorna alla sua posizione di riposo, e l'oscillatore riassume la sua frequenza di riposo; quindi l'azione si ripete per il successivo ciclo audio.

d) La frequenza od altezza del segnale audio applicato al microfono determina il numero di vibrazioni per secondo del diaframma fra le posizioni *A* e *B* (fig. 198) e, conseguentemente il numero di volte per secondo che la frequenza dell'oscillatore varia intorno alla sua frequenza di riposo fra i suoi valori superiori ed inferiori. Una nota di 1000 cicli per secondo, farà spostare il diaframma dalla posizione di riposo alla posizione *A*, quindi indietro alla posizione *B* ed ancora alla posizione di riposo, 1000 volte per secondo con una corrispondente variazione nella frequenza dell'oscillatore. Una nota audio di 100 cicli e dello stesso volume (ampiezza), provocherà la stessa ampiezza di vibrazione del diaframma con una frequenza di 100 volte per secondo, con un corrispondente ritmo di variazione nella frequenza dell'oscillatore. Un altro importante dettaglio da ricordare a questo punto è che se l'intensità (ampiezza) del segnale audio è aumentata, come mostrato dalla linea a tratti di figura 198 (2), il movimento del diaframma *D* coprirà una distanza più grande, ossia da *A'* a *B'*. Ciò comporterà una variazione più grande di capacità ed una variazione più grande di frequenza.

Pertanto, l'ampiezza del segnale modulante determina la variazione di frequenza da entrambe le parti (ossia in aumento e in diminuzione) della frequenza di riposo. Il valore della variazione di frequenza su ciascun lato della frequenza di riposo è chiamato *deviazione*.

e) Negli apparati militari, è pratica corrente che la massima deviazione consentita non superi i 40 chilocicli per qualunque canale. Questo significa che il più forte segnale audio che può essere usato per modulare un trasmettitore è limitato a quel valore che provocherà una deviazione massima di 40 chilocicli su ciascun

lato della frequenza di riposo. La frequenza della stazione può allora variare per un totale di 80 chilocicli, conosciuto con il nome di *escursione della portante*. È pure prevista una banda di 20 chilocicli a titolo di separazione fra i canali. Questa banda di 20 chilocicli è chiamata la *banda di guardia*.

Pertanto il canale assegnato a ciascuna stazione consiste in due gamme di deviazione di 40 chilocicli ciascuna, più metà della banda di guardia su ciascun lato, ossia un totale di 100 chilocicli. Tuttavia, con qualunque dei sistemi oggi usati per ottenere la modulazione di frequenza, l'importo di deviazione ottenuta nel punto in cui si esegue la modulazione è piccola in confronto a quella richiesta per una soddisfacente trasmissione di segnali modulati in frequenza. Per accrescere l'importo di deviazione iniziale al valore conveniente, è usato un sistema di moltiplicazione di frequenza. Se due frequenze, tali come 6 e 6,025 megacicli, aventi una differenza di frequenza di 25 chilocicli, sono applicate all'ingresso di un triplicatore di frequenza accordato con curva piatta, le frequenze d'uscita saranno 18 e 18,075 megacicli rispettivamente. Vi è adesso una differenza di 75 chilocicli fra queste due frequenze, ossia tre volte la differenza di frequenza iniziale. Le varie frequenze prodotte nel punto di modulazione sono, pertanto, applicate ad una serie di moltiplicatori, e l'importo della variazione iniziale di frequenza, o deviazione, ottenuta, è moltiplicata sino ad un valore conveniente, prima che il segnale sia applicato all'amplificatore di potenza e quindi all'antenna trasmittente. I circuiti del moltiplicatore e dell'amplificatore di potenza sono del tipo normale e pertanto non necessitano di ulteriore spiegazione.

f) Nella modulazione d'ampiezza, l'ampiezza della portante varia da zero al doppio del suo valore normale per il 100 per cento di modulazione. Vi è pure una corrispondente variazione di potenza; conseguentemente, la potenza aggiuntiva deve essere fornita dalla portante durante le punte di modulazione. Quindi i tubi non possono operare con il massimo rendimento in tutti gli istanti del periodo di modulazione. Per contro, nella modulazione di frequenza, il così chiamato 100 per cento di modulazione ha un significato differente. Come mostrato nella figura 198 (3), l'ampiezza del segnale rimane costante, indipendentemente dalla modulazione,

poichè il segnale modulante varia soltanto la frequenza dell'oscillatore. Pertanto i tubi possono essere fatti funzionare in tutti gli istanti con l'efficienza massima. Ciò rappresenta uno dei vantaggi più importanti della modulazione di frequenza. La modulazione al 100 per cento, nella modulazione di frequenza indica una variazione della portante per l'importo spettante all'intera deviazione consentita: dalla linea *RO* ad *A''* oppure a *B''* nel diagramma di figura 199. La linea *RO* rappresenta la frequenza di riposo, che è

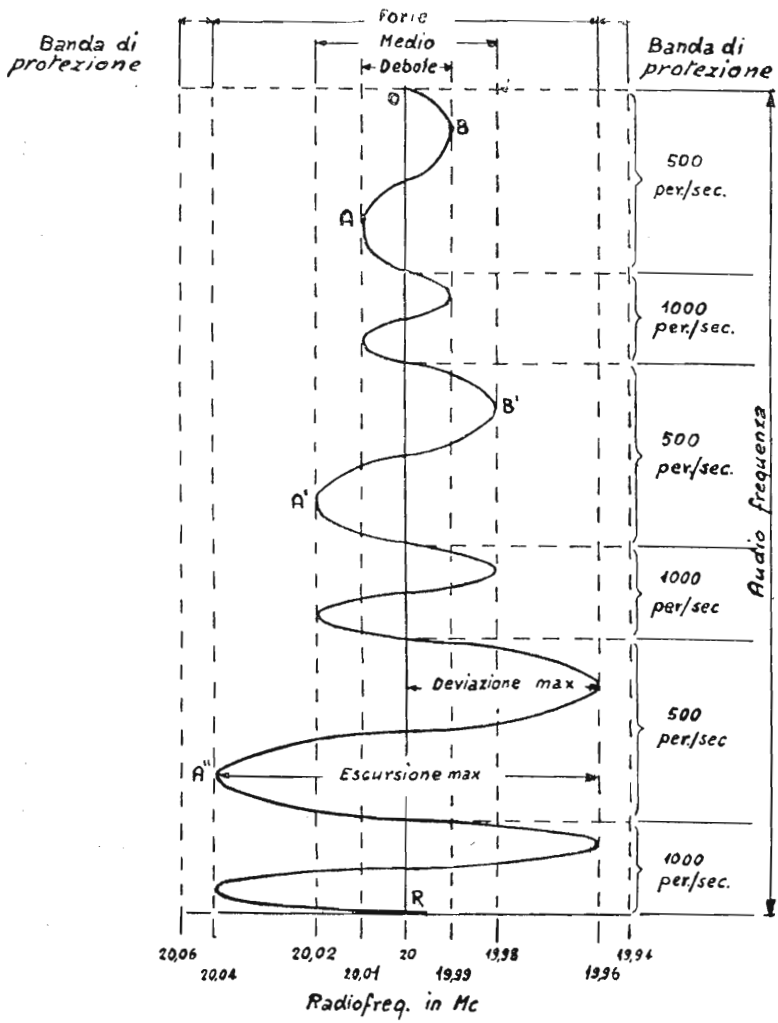


FIG. 199 - Dimostrazione grafica dei principi della modulazione di frequenza.

stata assunta uguale a 20 megacicli. Se l'oscillatore che produce questa frequenza è modulato con un debole segnale audio di 500 cicli, la frequenza dell'oscillatore varierà dalla frequenza di riposo, fino, ad esempio, 19,99 megacicli, quindi, passando per la frequenza di riposo, va a 20,01 megacicli e, successivamente, ritorna alla frequenza di riposo e ciò con un ritmo di 500 volte per secondo. Se la frequenza e l'altezza del segnale modulante è cambiata a 1000 cicli per secondo (l'ampiezza rimanendo la stessa), la escursione fra A e B avverrà con un ritmo di 1000 volte per secondo. Accrescendo l'ampiezza del segnale audio modulante per ciascuna di queste due frequenze (500 e 1000 cicli), aumenterà la deviazione ad A'' su un lato della RO e a B'' sull'altro lato. Il ritmo della variazione di frequenza sarà ancora rispettivamente di 500 e 1000 volte per secondo. Aumentando l'ampiezza del segnale modulante fino a portare l'escursione massima della portante fra i punti A'' e B'' si ha la massima deviazione ammissibile, ossia si raggiungono le frequenze di 19,96 e 20,04 megacicli. Il ritmo della variazione dipenderà ancora dalla frequenza del segnale modulante. Le frequenze fra 19,96 e 19,94 megacicli e fra 20,04 e 20,06 sono le bande di guardia previste per la separazione fra i canali delle stazioni adiacenti.

129. **Metodi di modulazione di frequenza.**

a) Un soddisfacente trasmettitore a f. m. deve soddisfare a due importanti requisiti. La deviazione di frequenza deve essere simmetrica attorno ad una frequenza fissa e la deviazione deve essere direttamente proporzionale all'ampiezza della modulazione ed indipendente dalla frequenza di modulazione. Vi sono parecchi metodi di modulazione di frequenza che soddisfano a questi requisiti. La disposizione discussa nel paragrafo 128, conosciuta come un modulatore meccanico, è il sistema più semplice di modulazione di frequenza, ma è raramente usata. I due tipi importanti di modulazione di frequenza impiegati negli equipaggiamenti radio f.m. militari sono il *sistema modulante a tubo di reattanza* ed il *sistema modulante di fase Armstrong*. La principale differenza fra questi due sistemi è data dal fatto che nel metodo di modulazione con

tubo di reattanza, l'onda a radiofrequenza è modulata alla sua sorgente (l'oscillatore), mentre nella modulazione di fase l'onda a radiofrequenza è modulata in qualche stadio seguente all'oscillatore. I risultati per ciascuno di questi sistemi sono gli stessi; cioè l'onda modulata di frequenza creata da ciascun sistema può essere ricevuta dallo stesso ricevitore. Ciascuno di questi due sistemi di modulazione di frequenza, descritti sotto in *b*) e in *c*), sarà trattato con maggiori dettagli nei paragrafi 133 e 134.

b) Il sistema di modulazione di frequenza a tubo di reattanza è mostrato nel diagramma a blocchi di figura 200. In questo

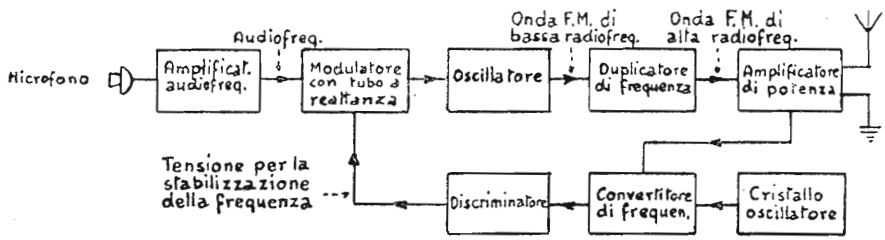


FIG 200 - Diagramma a blocchi di un trasmettitore F. M. a tubo di reattanza.

sistema l'oscillatore è autoeccitato, usualmente operante secondo un circuito Hartley. Un altro tubo, chiamato il *tubo di reattanza*, è connesso in parallelo con il circuito accordato dello stadio oscillatore. A mezzo di un conveniente circuito, questo tubo di reattanza si può fare agire sia come una reattanza induttiva che come una reattanza capacitiva e questa reattanza è fatta variare in accordo con la frequenza audio (modulante). La frequenza dell'oscillatore viene variata per effetto della reattanza variabile connessa ai capi del suo circuito oscillante, e così un segnale modulato in frequenza appare all'uscita dello stadio oscillatore. Questa portante (con la modulazione di frequenza) è fatta passare attraverso un duplicatore di frequenza, o stadio moltiplicatore, per accrescere la frequenza portante ed il rapporto di deviazione. Un amplificatore di potenza fornisce il segnale finale ad una conveniente antenna. Per mantenere il funzionamento del trasmettitore sulla sua frequenza assegnata, è realizzato un metodo di stabilità di

frequenza confrontando l'uscita del trasmettitore con un oscillatore campione controllato a cristallo ed inviando all'indietro una conveniente *tensione correttiva* proveniente da un convertitore di frequenza e da uno stadio discriminatore (par. 130).

c) Il sistema a modulazione di fase Armstrong è mostrato nel diagramma a blocchi di figura 201. Questo trasmettitore ha un oscillatore di cui la frequenza è mantenuta ad un valore costante a mezzo di un cristallo a quarzo. Questa onda a frequenza costante è fatta passare attraverso ad un amplificatore a radiofrequenza che eleva l'ampiezza dell'onda. La frequenza audio (modulante)

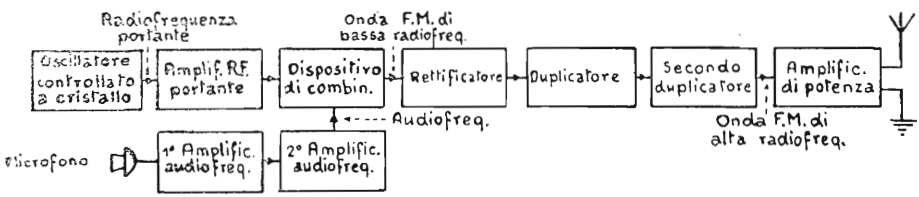


FIG. 201 - Diagramma a blocchi di un trasmettitore a modulazione di frequenza sistema Armstrong.

è applicata alla portante a radiofrequenza a mezzo di un circuito di composizione. L'uscita del circuito di composizione (costituita dalla portante alla radiofrequenza di riposo e dalle frequenze di deviazione) è applicata ad una serie di stadî amplificatori a radiofrequenza in classe *C*, in ciascuno dei quali il circuito di placca è accordato ad una frequenza doppia di quella a cui è accordato il circuito di griglia (duplicatori di frequenza). L'onda d'uscita, che ha raggiunto un'elevata frequenza portante ed un'alta deviazione, è applicata all'antenna. L'audiofrequenza applicata allo stadio modulatore deve essere fatta passare attraverso un circuito che rende l'ampiezza audio inversamente proporzionale alla frequenza audio. Il funzionamento completo dei vari stadi del sistema di modulazione di fase Armstrong è discusso nel paragrafo 134.

130. **Ricezione delle onde modulate di frequenza.**

a) Mentre l'uso della modulazione di frequenza semplifica grandemente nel trasmettitore il problema della modulazione, la

modulazione di frequenza ha necessità, nei ricevitori, di un circuito alquanto più complicato di quello necessario per il ricevitore a modulazione d'ampiezza. Il ricevitore f.m. impiega due tipi di stadî che non si trovano nel ricevitore a.m. e cioè: un *limitatore* ed un *discriminatore* o rivelatore di frequenza. Il ricevitore a supereterodina è usato esclusivamente per la modulazione di frequenza giacchè in molti casi occorre un'elevata amplificazione per portare l'ampiezza dei segnali deboli sino a quel valore che è necessario per far funzionare correttamente il limitatore.

b) Uno dei requisiti fondamentali a cui deve soddisfare un ricevitore f.m. è che esso deve essere in grado di far passare la richiesta banda di frequenza creata dal trasmettitore; questa larghezza di banda può raggiungere gli 80 chilocicli. Un secondo requisito da soddisfare, quando si desidera trarre profitto dalle complete possibilità relative alla riduzione di rumore di un sistema f.m., è attuato a mezzo di un dispositivo limitatore che toglie tutte le variazioni di ampiezza del segnale ricevuto, cosicchè il segnale varî *soltanto* in frequenza all'ingresso del rivelatore. Un terzo requisito da raggiungere è che il rivelatore (discriminatore) sia capace di convertire le variazioni di frequenza in variazioni d'ampiezza.

c) Un confronto fra un ricevitore a supereterodina progettato per la ricezione di segnali modulati in ampiezza e quello progettato per la ricezione di segnali modulati in frequenza è mostrato dalla figura 202.

In entrambi i tipi vi sono, uno stadio accordato di amplificazione a radiofrequenza, un oscillatore ad alta frequenza ed un mescolatore seguiti da uno o più stadî di amplificazione a frequenza intermedia.

Gli stadî rispettivi di entrambi i ricevitori sono sino a questo punto simili per quanto riguarda lo scopo; vi è la sola differenza che nel ricevitore f.m. i circuiti accordati sono progettati per far passare una banda di frequenze molto più larga. Nei due stadî successivi si trovano le due differenze sostanziali fra i ricevitori.

Il limitatore del complesso a f.m. può essere considerato come uno speciale tipo di amplificatore a frequenza intermedia, mentre il discriminatore è uno speciale tipo di rivelatore. I segnali audio d'uscita del rivelatore del ricevitore a a.m. e quelli d'uscita del discriminatore del ricevitore f.m. sono applicati, in ambo i casi, all'amplificatore audio e successivamente all'altoparlante.

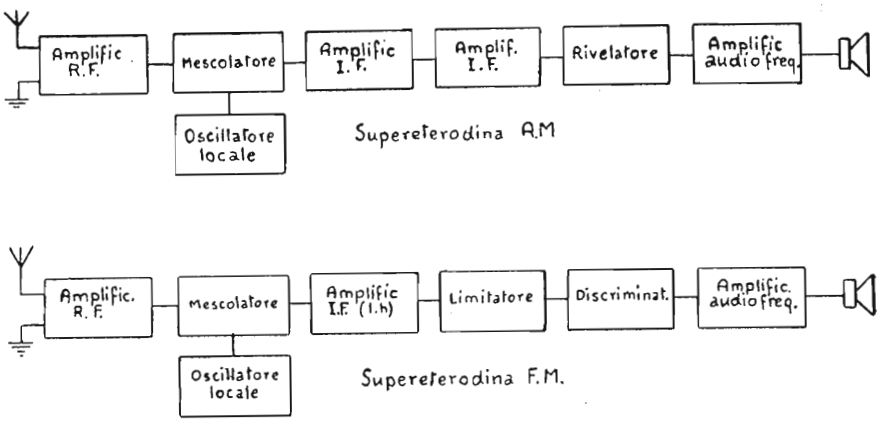


FIG. 202 - Diagramma a blocchi di confronto fra un ricevitore a supereterodina A.M. e F.M.

131. **Il limitatore.**

a) Il limitatore in un ricevitore a modulazione di frequenza serve a togliere la modulazione d'ampiezza ed a far così passare al discriminatore un segnale modulato di frequenza di ampiezza costante. Il circuito del limitatore è mostrato dalla figura 203; il resto del ricevitore è mostrato sotto forma di diagramma a blocchi.

b) Il segnale f. m. in uscita dall'antenna trasmittente è variabile in frequenza in accordo con il segnale modulante audio, ma è di ampiezza costante. Tuttavia, mentre il segnale viaggia fra l'antenna trasmittente e quella ricevente esso si combina con i disturbi naturali ed industriali che provocano variazioni di ampiezza nel segnale modulato. Inoltre vi sono variazioni causate

dal «fading» del segnale, tali come quelle che possono essere incontrate nei mezzi in moto. Tutte queste indesiderabili variazioni di ampiezza esistenti nel segnale f.m. sono amplificate mentre esso passa nei diversi stadî del ricevitore fino all'ingresso *T* del limitatore (fig. 203). Questa condizione del segnale in cui sono presenti modulazione di frequenza (desiderata) e modulazione d'ampiezza (indesiderata), è mostrata nella forma d'onda di figura 204 (2).

Lo scopo del limitatore è quello di eliminare queste variazioni d'ampiezza, dovute agli impulsi del rumore, prima che il segnale a modulazione di frequenza sia applicato al discriminatore.

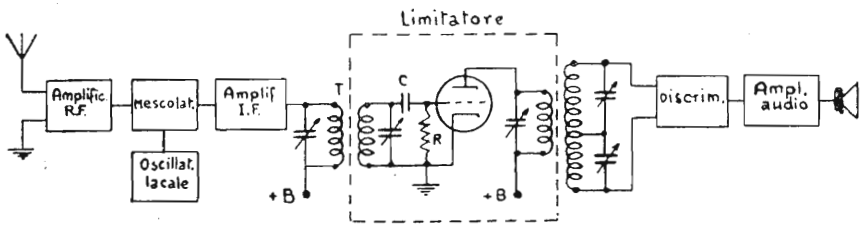


FIG. 203 - Schema semplificato del limitatore.

Il carattere del segnale dopo aver lasciato il limitatore dovrebbe essere come indicato nella figura 204 (3), in cui sono state rimosse tutte le variazioni d'ampiezza, lasciando un segnale che varia solo in frequenza.

c) Il circuito limitatore di figura 203 è simile ai circuiti polarizzati con resistore di griglia, precedentemente studiati. Il tubo limitatore è del tipo a pendenza costante ed è fatto funzionare con bassissime tensioni di placca e con polarizzazione per dispersione di griglia, cosicchè esso si sovraccarica facilmente.

Con una tensione di placca più bassa, fluirà una corrente di griglia più elevata quando è applicato il segnale. Questo fatto aiuta l'azione di *taglio*. Ispezionando il circuito, si vede che non esiste polarizzazione iniziale nel circuito. Quando la prima alternanza del segnale, indipendentemente dall'intensità, è applicata fra griglia e catodo, essa incomincia a far diventare la griglia positiva,

provocando un flusso di corrente di griglia. Questo flusso di corrente, durante le punte positive del segnale, carica il circuito accordato T. Per effetto di questa azione di carica del circuito accordato, vi è una caduta, ossia una azione di taglio, della tensione ai capi di esso durante le punte positive. Questa azione può essere confrontata a quella di un generatore, in cui un aumento di corrente erogata provoca una diminuzione nella tensione d'uscita

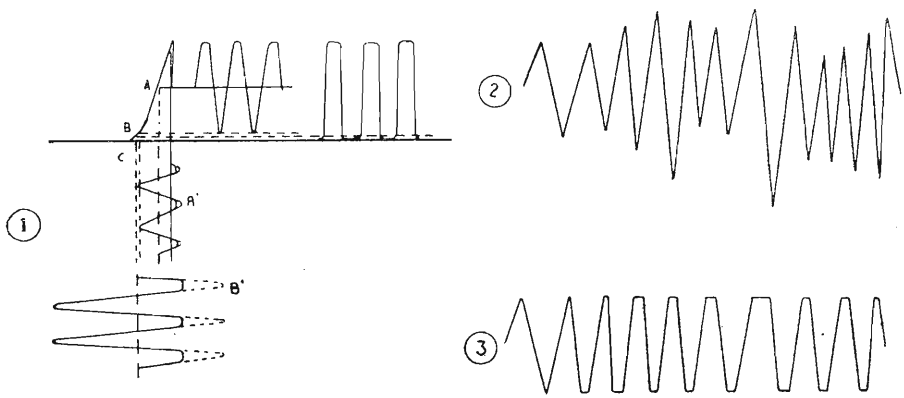


FIG. 204 – Azione del limitatore nei ricevitori a modulazione di frequenza.

per effetto della perdita attraverso l'impedenza interna del generatore. Pertanto, le punte positive sono tagliate dall'azione del circuito di griglia.

Come in tutti i circuiti polarizzati con resistori di griglia, la corrente che fluisce nel circuito di griglia durante le punte positive, sviluppa, con l'aiuto del condensatore di griglia C, una caduta di tensione continua ai capi del resistore di griglia R. Il valore di questa caduta dipende dall'importo di corrente di griglia che, a sua volta, dipende dall'intensità del segnale.

Per esempio, ammettiamo che un debole segnale d'ingresso A' sia applicato al circuto, come in figura 204 (1). Le punte positive di quest'onda saranno tagliate nel circuito di griglia per effetto del flusso di corrente di griglia. Questa corrente produrrà una polarizzazione che cambierà il punto di funzionamento da quello corrispondente al punto di polarizzazione zero ad un altro punto,

per esempio, A. In questo caso la punta negativa non andrà oltre l'interdizione e non vi sarà azione di taglio sulla punta negativa. Da notare che vi è stata qualche amplificazione, senza altro taglio, oltre quello compiuto nel circuito di griglia. Quando è accresciuta l'ampiezza del segnale d'ingresso, come a B' in figura 204 (1), aumenta il flusso della corrente di griglia. Ciò produce una caduta più grande attraverso il resistore di griglia, ponendo sul tubo una polarizzazione più grande, come indicato in B. Poichè adesso le punte negative eseguono un'escursione che va oltre il punto d'interdizione (punto C), non vi è flusso di corrente di placca durante quel periodo. Conseguentemente, le punte negative sono tagliate nel circuito di placca. Da questa discussione si può vedere che il segnale d'ingresso deve raggiungere una certa intensità prima che avvenga l'azione di taglio su entrambe le punte, positive e negative. Per effetto di questa azione del limitatore vi è un segnale modulato in frequenza, ma avente *ampiezza costante* all'uscita di questo stadio, segnale che può essere successivamente applicato al discriminatore.

132. **Il discriminatore.**

a) La seconda maggiore differenza fra i ricevitori modulati di ampiezza e quelli modulati di frequenza, è rappresentata dal rivelatore o discriminatore. Il rivelatore in un ricevitore a modulazione d'ampiezza interpreta le *variazioni d'ampiezza* dell'energia a radiofrequenza modulata in ampiezza e le traduce in termini di audio segnale. Nel ricevitore f.m. il discriminatore interpreta le variazioni di frequenza dell'energia a radiofrequenza modulata in frequenza e le traduce in termini di audiosegnale.

b) Il discriminatore di un tipico ricevitore a f.m. è mostrato dalla figura 205. In questo circuito il trasformatore impiegato ha un primario accordato L_1 e due secondari accordati L_2 ed L_3. Il primario di questo trasformatore è accordato alla frequenza centrale della banda passante a frequenza intermedia.

Questa frequenza corrisponde alla frequenza di riposo del segnale a modulazione di frequenza come esso è ricevuto dal-

l'antenna. Il secondario L_2 è accordato ad una frequenza più elevata di quella di riposo per un importo più grande di quello della deviazione del segnale, e L_3 è accordato ad una frequenza più bassa di quella di riposo secondo lo stesso importo. L_2 è connessa in serie con R_2 attraverso il diodo D_1, L_3 è connessa in serie con R_3 attraverso il diondo D_2. Poichè la direzione del flusso di elettroni in ciascun circuito del diodo è come indicato dalle frecce, la polarità della caduta di tensione attraverso ciascun resistore di carico, R_2 e R_3, è positiva alle estremità verso il catodo e negativa alle estremità verso la placca, come è indicato nella figura.

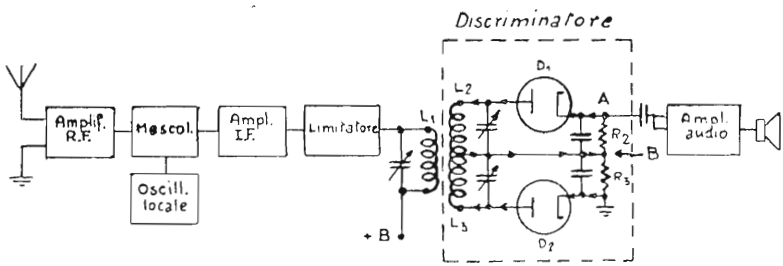


FIG. 205 - Schema semplificato del discriminatore.

Entrambi i resistori sono congiunti nel punto B che è l'estremità a polarità negativa delle tensioni attraverso ciascun resistore. Pertanto, le due tensioni sono opposte fra di loro e la tensione risultante fra il punto A e la massa sarà la differenza fra le due. La polarità risultante sarà la polarità spettante alla più grande delle due singole tensioni. La figura 206 (1) mostra possibili curve di risonanza, A e B, per ciascun secondario accordato, L_2 e L_3 rispettivamente. Le loro frequenze risonanti sono indicate essere eguali a 5,95 e 6,05 megacicli. Le curve indicano le tensioni-segnale sviluppate ai capi di ciascun circuito accordato quando la frequenza applicata al trasformatore varia attraverso i valori indicati. Il solo punto in cui entrambe le tensioni sono uguali è il punto X che rappresenta la frequenza di riposo di 6 megacicli. Poichè le curve A e B rappresentano rispettivamente le tensioni applicate a D_1 e a D_2 ed i resistori di carico sono connessi in opposizione serie, la tensione risultante fra il punto A e la massa

può essere quella mostrata dalla figura 206 (2). Da questa curva *S* si può vedere che se, in 1/500 di secondo, l'onda modulata in frequenza varia dalla frequenza di riposo di 6 megacicli a 5,96 megacicli, intorno alla frequenza di riposo va a 6,04 megacicli e ritorna ancora alla frequenza di riposo, la tensione sviluppata fra il punto *A* e la massa (fig. 205) sarà un ciclo dell'onda audio (avente la fre-

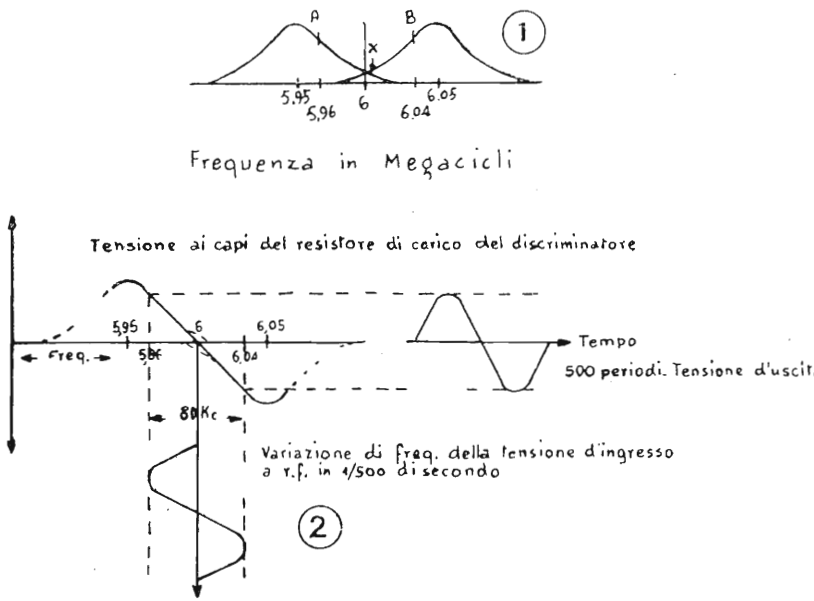


FIG. 206 - Onda di tensione ai capi della resistenza di carico del discriminatore.

quenza di 500 cicli) indicato alla destra della figura 206 (2). Le variazioni di frequenza di un'onda modulata di frequenza sono così cambiate nella forma di variazioni d'ampiezza ossia in audio segnale.

c) Un altro metodo di rivelazione dei segnali a m.f. consiste nell'applicare il segnale in arrivo ad un circuito accordato ad una frequenza *leggermente differente* da quella del segnale. Una frequenza più alta produrrà un aumento nella corrente nel circuito accordato, ed una frequenza più bassa provocherà una corrispondente diminuzione di corrente. Questo circuito converte quindi le

variazioni di frequenza in variazioni di ampiezza di corrente, che può allora essere inviata ad un comune rivelatore per modulazione d'ampiezza. Ciò spiega perchè in certe condizioni i segnali f.m. possono essere ricevuti con i ricevitori a modulazione d'ampiezza. Tuttavia, la qualità risultante da tale azione rivelatrice è molto scadente, data l'azione non lineare del circuito interessato.

d) La forma di discriminatore più largamente usata è quella conosciuta con il nome da circuito Foster–Seeley. L'azione del discriminatore Foster–Seeley in un circuito funzionante è descritta nel paragrafo 133 *j*).

e) L'uscita audio dello stadio discriminatore è quasi sempre applicata ad uno o più stadi di amplificazione audio prima di raggiungere l'altoparlante.

133. Circuito di un complesso rice-trasmittente con tubo di reattanza.

a) Il circuito di un complesso militare tipico a f.m. è quello del rice–trasmettitore mostrato dalla figura 207. Questo apparato, conosciuto con il nome di SCR–509, è un complesso portatile f.m. in cui il trasmettitore ed il ricevitore sono costruiti sulla stessa intelaiatura. Il circuito è stato semplificato, mettendo sotto forma di diagramma a blocchi alcuni ben conosciuti stadî normali.

b) Sarà prima considerato il funzionamento del circuito del trasmettitore. Gli stadi di questo circuito trasmettitore comprendono un modulatore a tubo di reattanza, un oscillatore–duplicatore ad accoppiamento elettronico, un duplicatore in « push–pull » ed un amplificatore di potenza in « push–pull » che fornisce un segnale a radiofrequenza all'antenna.

c) La sezione oscillatore di un semplice oscillatore–duplicatore ad accoppiamento elettronico consiste in un convenzionale circuito Hartley in cui L_1 è la sezione di griglia della bobina e L_2 è la sezione di placca (fig. 207). La griglia schermo del tubo agisce come la placca della sezione oscillatrice del circuito. Il circuito di

placca del tubo raddoppia tutte le frequenze create dall'oscillatore e pure provvede all'accoppiamento con lo stadio separatore.

d) La modificazione di frequenza in questo trasmettitore è compiuta a mezzo dello stadio modulatore a tubo di reattanza. Il tubo T_2 è connesso in parallelo al circuito accordato dell'oscillatore attraverso C_s ed il circuito del filamento, ed è fatto funzio-

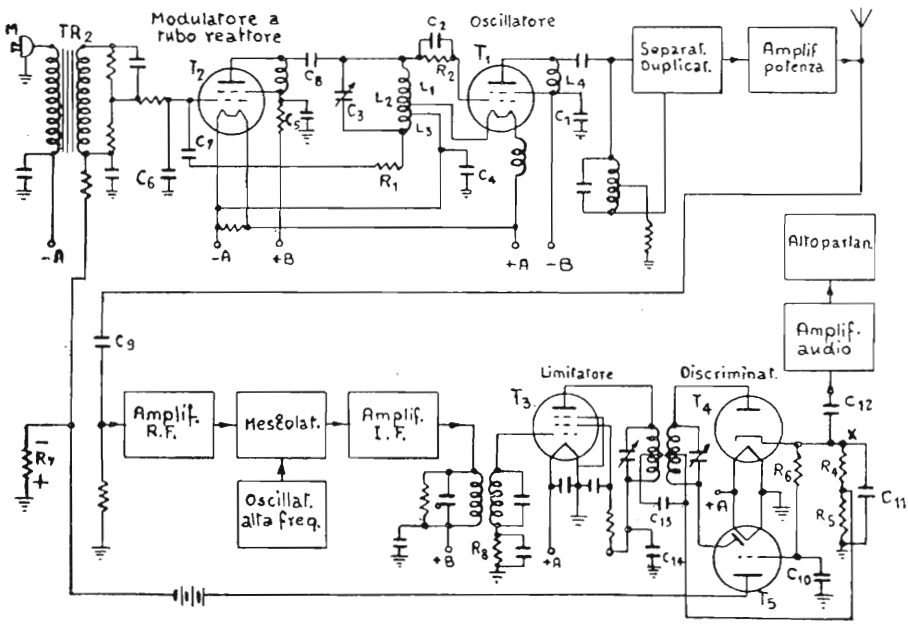


FIG. 207 - Diagramma semplificato della stazione radio SCR-509.

nare come un condensatore. Variando il valore della corrente che fluisce attraverso questo tubo, può pure essere variato il suo effetto capacitivo ai capi del circuito oscillante.

e) L'audiofrequenza creata dal microfono *M* (fig. 207) è applicata attraverso il trasformatore alla griglia del tubo reattore del modulatore T_2. La corrente che attraversa il tubo varierà così in accordo con il segnale ad audiofrequenza, variando pertanto l'effetto capacitivo del tubo sul circuito oscillante e finalmente variando la frequenza con un ritmo audio. Questo segnale modu-

lato di frequenza è raddoppiato in frequenza nel circuito di placca dell'oscillatore e portato alle griglie del duplicatore in « push-pull », quindi all'amplificatore di potenza e finalmente all'antenna.

f) L'importo di deviazione lineare di frequenza ottenibile a mezzo di un sistema f.m. è limitato. Per questa ragione l'oscillatore è fatto funzionare ad una frequenza bassa, dopo di che la frequenza modulata è duplicata e l'uscita portata ad uno stadio duplicatore-separatore. Se due frequenze differenti sono portate ad un duplicatore, per esempio, 10 megacicli e 10,015 megacicli, le frequenze risultanti di 20 e 20,030 megacicli differiscono di 0,030 megacicli, ossia di un valore doppio del valore della differenza originale. In questo trasmettitore l'oscillatore è fatto funzionare ad una frequenza compresa fra 5 e 6,97 megacicli. Sotto modulazione, la frequenza è fatta deviare di quantità che va sino a 9 chilocicli. Questo segnale f.m. è raddoppiato in frequenza nella placca del circuito oscillatore ad accoppiamento elettronico ed alimentato alle griglie del duplicatore in « push-pull ».

Nel circuito di placca del duplicatore, che è accordato ad una frequenza doppia di quella per cui è accordato il suo circuito di griglia, sono ottenute una frequenza di riposo, quattro volte la frequenza originale dell'oscillatore, ed una deviazione di 36 chilocicli, che è quadrupla della deviazione originale. Questa tensione segnale è accoppiata a trasformatore all'amplificatore di potenza.

g) Nel sistema modulatore a tubo di reattanza, la modulazione di frequenza è eseguita alla sua sorgente, ossia nell'oscillatore. Sotto queste condizioni il controllo a quarzo delle oscillazioni è impossibile. L'oscillatore può non ritornare alla sua *frequenza di riposo* alla fine di ciascun ciclo dell'audiosegnale, ma può scorrere e cominciare a variare attorno a qualche altra frequenza diversa da quella di riposo. Per eliminare ciò è necessario qualche metodo di stabilizzazione della frequenza quando si usa il metodo di modulazione a tubo di reattanza. Il sistema di stabilizzazione usato con questo trasmettitore è descritto sotto al capoverso *k*).

h) La sezione ricevitore del complesso radio SCR-509 è mostrata nella parte inferiore della figura 207. I circuiti conven-

zionali sono mostrati per semplicità sotto forma di diagramma a blocchi. Sia per il trasmettitore che per il ricevitore è usata la stessa antenna. Il segnale m. f. ricevuto è applicato attraverso il condensatore C_9, il resistore R_3 e la massa, fra la griglia ed il filamento dell'amplificatore a radiofrequenza. Lo stadio a radiofrequenza è accordato ed accoppiato ad impedenza alla griglia dello stadio mescolatore. Il segnale dell'oscillatore è applicato ad un'altra griglia del mescolatore. Il segnale a frequenza intermedia prodotto nel circuito di placca del mescolatore è accoppiato a mezzo di trasformatore al circuito griglia–catodo del primo amplificatore a frequenza intermedia. Il segnale prodotto nel circuito di placca di questo stadio è accoppiato a mezzo di trasformatore al circuito di griglia del secondo amplificatore a frequenza intermedia. Il segnale amplificato nel circuito di placca di questo stadio è accoppiato a trasformatore al circuito di griglia del limitatore. Sino a questo punto, i circuiti di ciascuno stadio sono simili a quelli impiegati nei corrispondenti stadî di un ricevitore progettato per la ricezione dei segnali modulati in ampiezza. Tuttavia, vi è una differenza nella effettiva costruzione dei circuiti accordati. Qualche accorgimento, quale l'appropriato grado di accoppiamento e l'applicazione di resistori in parallelo con i circuiti accordati, è usato per realizzare l'appropriata caratteristica della banda passante.

i) Il circuito limitatore di questo ricevitore è del tipo convenzionale descritto nel paragrafo 131. Il taglio delle punte positive è compiuto nel circuito di griglia per effetto del flusso della corrente di griglia; il taglio delle punte negative è compiuto nel circuito di placca per effetto dell'interdizione della corrente di placca su queste punte. È sottinteso che il grande numero di stadî amplificatori impiegati nella prina parte del ricevitore porta l'ampiezza di qualunque segnale inizialmente debole ad un valore tale da subire l'azione di taglio del tubo.

Riferendoci alla figura 207, se è applicato un segnale troppo forte al limitatore, il flusso della corrente di griglia provocherà una forte caduta di tensione attraverso il resistore di griglia R_8, bloccando così il limitatore. Per impedire ciò, lo stadio a radiofre-

quenza è così realizzato che i più forti segnali provocheranno un flusso di corrente di griglia attraverso R_3, con conseguente taglio iniziale di questi segnali, riducendo così l'intensità del segnale ad un valore che permetterà il corretto funzionamento del limitatore. Il segnale che lascia il limitatore avrà allora un'ampiezza quasi costante e l'uscita del discriminatore avrà sentito soltanto gli effetti delle variazioni di frequenza del segnale.

j) Data la difficoltà di regolazione, il tipo di discriminatore f.m. a doppio circuito accordato [par. 132 *b*)] non è usato negli apparati f.m. di recente costruzione. Come nel ricevitore del complesso SCR–509, i più moderni ricevitori f.m. richiedono un circuito discriminatore della forma Foster–Seeley (fig. 207). Questo tipo di discriminatore opera partendo da una frequenza di riposo centrale a cui corrisponde una tensione d'uscita di valore zero. Su ciascun lato di questa frequenza, il discriminatore dà una tensione (attraverso i resistori di carico R_4 e R_5) di una polarità ed ampiezza che dipende dalla direzione e dall'importo di spostamento di frequenza. Il circuito Foster–Seeley richiede soltanto due circuiti accordati ed il funzionamento del circuito dipende dalle relazioni di fase esistenti in un trasformatore a secondario accordato. Queste relazioni di fase determinano l'applicazione di tensioni non uguali ai due diodi; tensioni che sono variabili e che fanno apparire attraverso la resistenza serie di due resistori di carico una tensione continua proporzionale alla differenza fra le tensioni a radiofrequenza applicate ai due diodi. Con il variare della frequenza del segnale in più e in meno rispetto alla frequenza risonante del discriminatore si sviluppa una tensione alternativa della stessa frequenza del segnale modulante originale che è trasferita all'amplificatore audio attraverso il condensatore C_{12} (fig. 207).

k) Nel trasmettitore mostrato nella figura 207, la frequenza dell'oscillatore è variata nel punto dove essa nasce. È pertanto impossibile il controllo a cristallo diretto dell'oscillatore, poichè la frequenza di un cristallo non può essere variata istantaneamente per un valore abbastanza grande. L'oscillatore è soggetto a scor-

rimenti di frequenza per effetto delle vibrazioni meccaniche e delle variazioni di tensione e temperatura. Poichè un oscillatore progettato per funzionare intorno ad una frequenza di riposo di 5 megacicli può portarsi a funzionare a qualche frequenza superiore o inferiore a 5 megacicli, deve essere usato qualche metodo di stabilizzazione per impedire ciò. Nell'SCR–509, il ricevitore agisce come uno stabilizzatore di frequenza quando è in funzione il trasmettitore. Una parte del segnale è prelevata dall'uscita del trasmettitore ed applicata attraverso C_9 (fig. 207) al circuito di griglia dello stadio a radiofrequenza del ricevitore. Questo segnale proveniente dal trasmettitore è molto forte. Per eliminare il bloccaggio del limitatore, lo stadio a radiofrequenza è progettato per esercitare un'azione di taglio sui segnali forti come conseguenza del flusso di corrente di griglia. Il segnale è trasferito al mescolatore, dove esso viene eterodinato con il segnale creato dall'oscillatore ad alta frequenza, controllato a cristallo, del ricevitore. Questa frequenza stabile dell'oscillatore a cristallo è chiamata la *frequenza di riferimento* del sistema di stabilizzazione, poichè essa è usata come campione di confronto per la stabilizzazione del trasmettitore. La frequenza intermedia prodotta è passata in avanti attraverso gli stadi successivi fino al discriminatore. Quando la modulazione dell'oscillatore del trasmettitore avviene attorno alla sua prestabilita frequenza di riposo, il segnale applicato al discriminatore varierà per valori uguali su ciascun lato della frequenza a cui è accordato il trasformatore del discriminatore. Il segnale audio prodotto fra il punto X e la massa (fig. 207) eseguirà escursioni uguali in direzione positiva e in direzione negativa partendo dalla tensione zero (tratto A–B della fig. 208). Questo segnale è applicato attraverso il filtro audio (fig. 207) e costituito da R_6 e C_{10}, alla griglia della sezione triodo di T_5. Il filtro toglie le componenti audio, non facendo quindi arrivare alcuna tensione di controllo audio sulla griglia. Il triodo eroga la sua normale corrente di placca e provoca una caduta normale di tensione attraverso R_7 che così provvede alla polarizzazione normale del tubo di reattanza T_2 (fig. 207). Se, per effetto dello scorrimento, la modulazione dell'oscillatore avviene attorno ad una frequenza più bassa

della prestabilita frequenza di riposo, la frequenza intermedia del ricevitore varierà attorno a qualche frequenza più bassa della frequenza di risonanza del discriminatore. La tensione audio di uscita del discriminatore varierà allora in misura uguale intorno ad un certo valore di tensione positiva, che sarà assunto di 3 volt, come indicato dal tratto *B–C* di figura 208. La componente audio è eliminata a mezzo di R_6 e C_{10}. ottenendosi una tensione media positiva di controllo di 3 volt applicata alla griglia della sezione

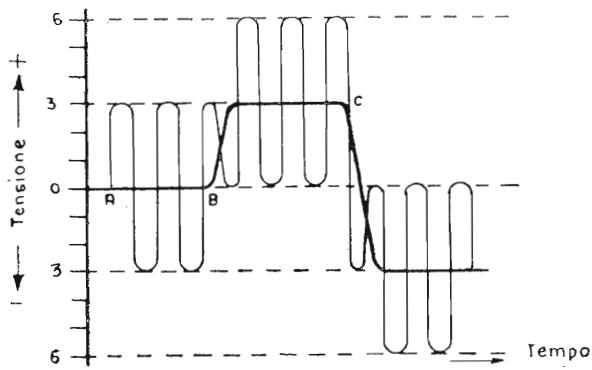


FIG. 208 - Segnale audio risultante dalla variazione della frequenza di riposo.

triodo di T_5. Ciò provoca un aumento di corrente attraverso R_7 nel circuito di placca del tubo. L'accresciuta caduta prodotta da questa corrente aumenta la polarizzazione del tubo di reattanza, facendo diminuire così la trasconduttanza del tubo e pertanto facendo decrescere l'effetto capacitivo del tubo sul circuito oscillante. Questo provoca il ritorno ad un valore di frequenza approssimativamente uguale alla propria frequenza di riposo. Questa azione correttiva o stabilizzante è estremamente rapida. Uno scorrimento della frequenza dell'oscillatore verso un valore più alto della frequenza di riposo determina una tensione media negativa. Ciò fa decrescere la corrente attraverso R_7 (fig. 207), con conseguente aumento dell'effetto capacitivo di T_2 sul circuito oscillante e quindi la frequenza dell'oscillatore ritorna ad un

valore approssimativamente uguale a quello dell'appropriata frequenza di riposo. Questo metodo di stabilizzazione è molto importante nei circuiti a f.m. impieganti oscillatori autoeccitati.

134. Circuito del complesso rice-trasmittente modulato di fase.

a) I vantaggi relativi alla riduzione di rumore della modulazione di frequenza sono stati messi in pratica nei trasmettitori e ricevitori militari a f.m. progettati per le comunicazioni fra mezzi corazzati. Malgrado l'alto livello dei disturbi elettrici generatori di rumori incontrato nei veicoli corazzati, si possono eseguire delle comunicazioni molto soddisfacenti con l'impiego di questi equipaggiamenti, come per esempio con l'SCR–508. Un circuito semplificato del trasmettitore f.m. è mostrato dalla figura 209 ed un diagramma a blocchi del ricevitore f.m. è mostrato dalla figura 213.

b) Sarà considerato prima il funzionamento del circuito del trasmettitore. Poichè molti stadî mostrati dalla figura 209 sono stati precedentemente studiati, essi sono mostrati, per semplicità, sotto forma di diagramma a blocchi. Le sole parti del trasmettitore che sono differenti dai circuiti precedentemente discussi sono mostrate in forma circuitale. I circuiti radio, per quanto riguarda la modulazione di frequenza, sono molto semplici, come si vede dalla figura.

c) Il primo stadio del trasmettitore è un oscillatore controllato a cristallo che impiega un circuito oscillatore tipo Pierce di grande stabilità.

L'oscillatore Pierce è un oscillatore Colpitts in cui l'induttanza del circuito oscillante è sostituita da un cristallo. Questo oscillatore opera con uno qualunque degli 80 cristalli disponibili, le frequenze dei quali coprono una gamma che si estende da 370,37 a 516,667 chilocicli. Un gruppo di 10 di questi cristalli prescelti è installato in uno speciale compartimento che è provvisto di un termostato per mantenere la stabilità di frequenza dei cristalli. Uno qualunque dei canali corrispondente ad uno dei 10 cristalli,

può essere scelto in qualunque istante a mezzo di un meccanismo comandato a pulsante.

d) L'uscita dell'oscillatore a cristallo è applicata al primo amplificatore a radiofrequenza ossia allo stadio separatore. Fatta eccezione del circuito accordato di placca, questo stadio è un comune amplificatore a radiofrequenza, a pentodo con resistore di polarizzazione di griglia. Gli scopi dello stadio sono quelli di fornire una certa amplificazione e di isolare l'oscillatore dagli altri

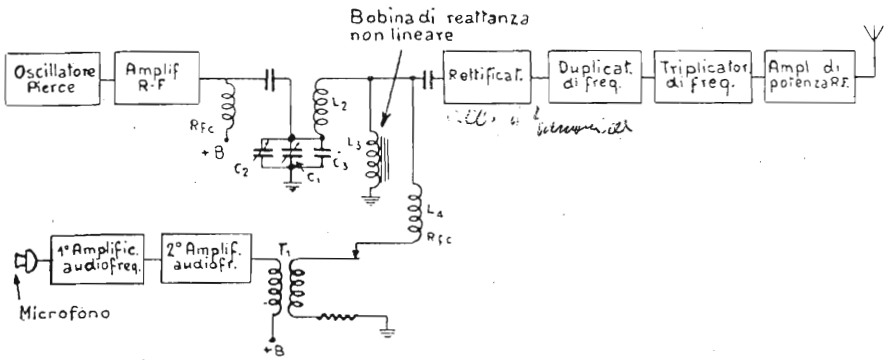


FIG. 209 - Circuito semplificato del trasmettitore F.M. della stazione SCR-508.

stadî. Il circuito di placca del separatore non è di tipo corrente, e questo è la sola parte del trasmettitore che richiede una spiegazione dettagliata.

e) Lo stadio separatore è provvisto di alimentazione-parallelo a mezzo della bobina L_1. Il circuito accordato di placca comprende le bobine L_2 e L_3 in serie. Queste bobine sono accordate alla frequenza dell'oscillatore a mezzo del condensatore variabile C_1 ed il « trimmer » C_2. Il condensatore C_3 è una capacità di compensazione di temperatura. Si può vedere che una parte della tensione a radiofrequenza del circuito di placca del separatore sarà sviluppata attraverso L_2 ed una parte attraverso L_3. In aggiunta alla corrente a radiofrequenza che fluisce attraverso L_3, su questa bobina fluirà anche una corrente ad audiofrequenza giacchè l'uscita della sezione audio (consistente nel microfono, primo e secondo

audio amplificatore e trasformatore d'uscita T_3) è applicata attraverso la bobina di arresto per la radiofrequenza L_4 ed attraverso L_3 che ha un'estremità a massa. Questa bobina, chiamata *bobina di reattanza non lineare del modulatore*, provvede alla modulazione del trasmettitore. Il funzionamento di questa bobina è basato sulla sua caratteristica secondo la quale si satura quando è attraversata da un piccolo valore di corrente.

f) Riassumendo brevemente qualche nozione relativa alla saturazione di una bobina, sarà ricordato che quando fluisce una corrente attraverso una bobina si crea attorno alla bobina una forza magnetomotrice, l'intensità della quale dipende dal valore della corrente che attraversa la bobina. Questa forza in un circuito magnetico, può essere paragonata alla tensione di un ordinario circuito elettrico. Questa forza magnetomotrice origina un flusso che si concatena con la bobina ed è paragonabile alla corrente di un circuito ordinario, ed ha una densità che dipende dalla riluttanza del nucleo della bobina. La riluttanza del nucleo, che può essere confrontata alla resistenza di un circuito elettrico, ha un valore che dipende dal materiale di cui è costituito il nucleo. La riluttanza di un nucleo ad aria rimane costante, indipendentemente dalla corrente. Questo vuol dire che la densità di flusso è proporzionale sia alla corrente che alla forza magnetomotrice. Tuttavia, quando il nucleo è costituito da una sostanza magnetica, la riluttanza non è più costante al variare della corrente. Più precisamente quando la corrente inizia a fluire la riluttanza è molto bassa ed il flusso è molto alto in confronto a quello esistente in una bobina con nucleo d'aria sotto condizioni simili. Aumentando la corrente, la riluttanza aumenta gradualmente e diminuisce la variazione di accrescimento del flusso. Dopo che la corrente ha raggiunto un certo valore, che dipende dal nucleo del materiale usato, la riluttanza aumenta molto rapidamente sino a che il suo valore diventa molto vicino a quella dell'aria. In corrispondenza di questo valore, un ulteriore aumento di corrente non produrrà un aumento apprezzabile del flusso. Questa condizione è chiamata *saturazione*. Due curve B–H, in ciascuna delle quali è rilevata la *forza magnetizzante* rispetto al *flusso*, sono mostrate nella figura 210:

una è relativa al « permalloy » e l'altra al « ferro armco ». Da notare come il permalloy raggiunga prontamente la saturazione in confronto al ferro armco. Il modulatore a bobina non lineare usato in questo trasmettitore a m.f. è una spirale di filo avvolta su un nucleo cilindrico di nastro di permalloy. Per effetto di questo permalloy, il nucleo raggiunge la saturazione con valori relativamente piccoli di corrente a radiofrequenza. Come indicato dalla curva *B–H* di figura 210, la variazione di flusso nel tratto che precede la saturazione è molto ripida. Applicando una tensione sinoidale alla bobina, quando la corrente che l'attraversa aumenta

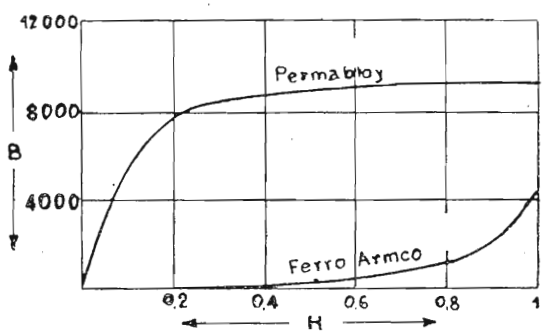


FIG. 210 – Curve *B–H* per la bobina di reattanza non lineare del modulatore.

da zero a qualche valore tale come *A* (fig. 211), vi è un rapido aumento del flusso fino a raggiungere la saturazione del nucleo. Quando la corrente aumenta dal valore indicato con *A*, arriva al suo valore massimo e quindi decresce sino al valore indicato con *B*, e non vi è variazione di flusso, poichè il nucleo rimane saturo durante questo periodo di variazione di corrente. Quando la corrente diminuisce oltre il punto di saturazione *B* (fig. 211) fino a raggiungere il valore zero, vi è una rapida variazione di flusso nella direzione opposta. Quando la corrente aumenta nella direzione opposta da zero sino a *C* il flusso continua a variare rapidamente e raggiunge ancora la saturazione. Continuando la corrente a crescere da *C* al suo valore massimo e quindi decrescendo al valore indicato con *D*, non vi è ancora variazione di

flusso, poichè il nucleo è saturo durante questo periodo di variazione di corrente. Quando la corrente decresce dal valore di saturazione e quindi raggiunge il valore *E*, vi è ancora una rapida variazione di flusso. Questa variazione di flusso si ripete per ogni ciclo. Sarà ora ricordato che è indotta una forza elettromotrice soltanto per effetto di una variazione di flusso e che inoltre il valore di questa forza elettromotrice dipende dalla rapidità di variazione di quel flusso. Conseguentemente, non vi è forza elettromotrice

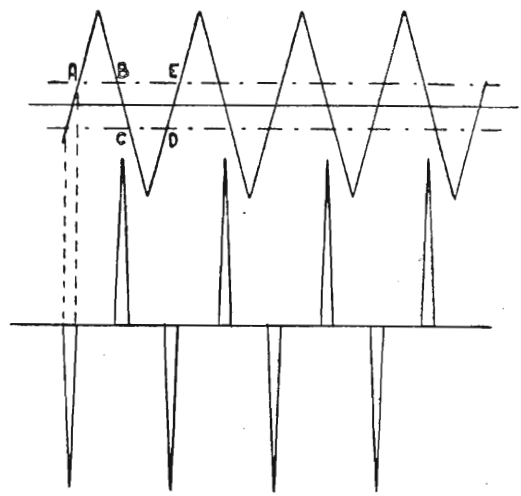


FIG. 211 - Impulsi di tensione sviluppati ai capi della bobina di reattanza non lineare del modulatore.

indotta durante quei periodi del ciclo fra *A* e *B*, *C* e *D*, ecc., poichè non vi è variazione di flusso durante questi periodi. Per contro durante gli intervalli fra *B* e *C*, *D* e *E*, ecc., vi è una rapidissima variazione di flusso che determina l'induzione di un impulso di tensione di forte ampiezza, come mostrato dalla parte inferiore di figura 211. Da notare che ciascuno di questi impulsi di tensione avviene esattamente 90° dopo le punte di corrente. Poichè questa differenza di fase è costante per ciascun ciclo quando è applicata una tensione pura a radiofrequenza, non vi è variazione nella frequenza. Tuttavia, come è stato accennato

quando si faceva riferimento alla figura 209, in aggiunta alle correnti a radiofrequenza fluenti attraverso L_3 vi sono pure le correnti di uscita ad audiofrequenza che l'attraversano. Le correnti audio e le correnti a radiofrequenza sono mostrate rispettivamente nelle figure 212 (1) e 212 (2), ed esse formano una corrente risultante come indicato dalla figura 212 (3). Come si può vedere da questo diagramma, le correnti a radiofrequenza non attraversano più i punti di valore zero dopo gli stessi intervalli di tempo, come si verifica per la corrente a radiofrequenza originale. Si trova, invece, che gli intervalli sono differenti per ciascun ciclo.

g) Riferendoci alle figure 212 (2) e (3) e con l'aiuto delle linee verticali a tratti di riferimento, si vede che la corrente risultante (3) taglia i valori zero negli stessi istanti della corrente portante originale (2) solo quando il ciclo audio passa anche esso per i suoi valori zero. Ciò avviene in corrispondenza dei punti *A*, *B* e *C*. Durante l'alternanza positiva del ciclo audio, i valori zero della corrente risultante (3) si hanno dopo (per un numero variabile di gradi) dei corrispondenti valori zero della corrente portante originale. Durante l'alternazione negativa del ciclo audio, i valori zero della corrente risultante (3) si hanno prima (per un numero variabile di gradi) dei corrispondenti valori zero della corrente portante originale (2).

Come indicato dalla figura 212 (4), i risultanti impulsi di tensione induttiva appariranno quando questa corrente risultante passa attraverso i propri valori di zero. La larghezza di questi impulsi è delimitata dalle linee *D* ed *E* di (3). Questi impulsi di tensione si verificano sia nella direzione positiva che nella direzione negativa. Il risultato complessivo è che l'intervallo di tempo fra gli impulsi di tensione positiva di (4) è massimo quando il ciclo audio passa dalla sua alternanza negativa alla sua alternanza positiva, mentre è minimo quando il ciclo audio passa dalla sua alternanza positiva alla sua alternanza negativa. Durante le punte di entrambe le alternazioni, positiva e negativa, il periodo fra gli impulsi raggiunge un valore intermedio. In questo modo sono prodotte le frequenze basse, alte e di riposo.

Dall'esame di (4), si vede che le alte frequenze nella direzione positiva si verificano nello stesso punto delle basse frequenze nella direzione negativa, e le basse frequenze nella direzione positiva avvengono nello stesso punto delle alte frequenze nella direzione negativa. Le frequenze di riposo di entrambe si verificano negli stessi punti. La differenza di ampiezza degli impulsi di tensione è dovuta alla differenza nella rapidità di variazione di corrente in questi punti, quando essa passa attraverso l'area fra i limiti di saturazione, punti D ed E in (3). La rapidità di variazione di corrente nel punto X in (3) è minore di quella del punto Y. Tuttavia, queste variazioni di ampiezza, sono soppresse dall'azione del limitatore.

h) Per effetto di questa relazione di tempo fra gli impulsi positivi e negativi, gli uni o gli altri debbono essere eliminati a mezzo di rettificazione, per evitare serie distorsioni di frequenza. Dopo la rettificazione, il segnale apparirà come indicato in (5), con l'intervallo di tempo fra ciascun impulso gradualmente crescente fino ad un massimo e successivamente decrescente ad un minimo secondo una variazione a frequenza audio. Quando questi impulsi di tensione sono applicati ad un circuito accordato, per azione dell'effetto volano, è creata un'onda regolare avente sia alternanze positive che negative. Questa onda avrà lo stesso intervallo variabile di tempo fra le punte positive degli impulsi di tensione applicati. Questa onda è mostrata in (6). I trattini verticali lungo l'asse dell'onda indicano i punti in cui l'onda originale (2) passa attraverso lo zero, aiutando così a visualizzare la variazione di fase fra le onde di (2) e di (6).

Per maggior chiarezza di disegno la variazione di fase è stata esagerata.

i) Agendo con qualche mezzo su una corrente e su una tensione in modo che siano variati gli intervalli di tempo dopo i quali essa assume i suoi diversi valori istantanei, si opera un cambiamento di fase. Durante il ciclo in cui avviene questo cambiamento, il periodo del ciclo è stato aumentato o diminuito e durante quel particolare ciclo, la frequenza diventa più bassa o più alta.

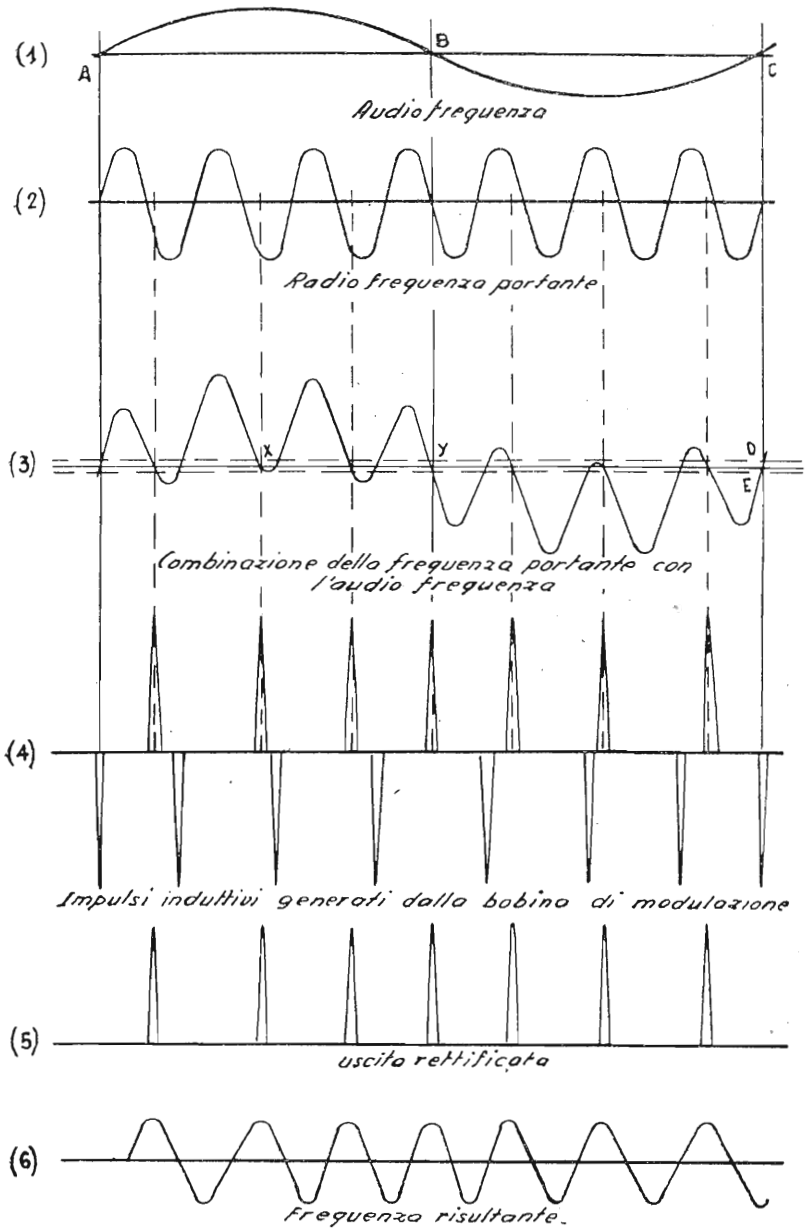


FIG. 212 - Sviluppo di una frequenza modulata di fase a mezzo di una induttanza a nucleo saturo.

Nel sistema di modulazione ora descritto, tale cambiamento avviene secondo un numero di gradi variabili in ciascun successivo ciclo.

Pertanto, il periodo di ciascun ciclo dopo la modulazione è differente da quello del ciclo che lo precede e da quello che lo segue, pur considerando che i periodi di ciascun ciclo erano identici in origine. Qualunque metodo che cambia la frequenza dell'energia a radiofrequenza, precedentemente generata a frequenza costante, si dice che esegue una modulazione di fase.

j) Gli impulsi di tensione induttiva mostrati nella figura 212 (4) (provenienti dall'induttore L_3 di figura 209) sono applicati fra la griglia ed il catodo del rettificatore. Il circuito di questo rettificatore è quello di un convenzionale amplificatore in classe *C* con polarizzazione di griglia. L'onda creata dalla bobina di reattanza ha un forte contenuto di nona armonica. Il circuito di placca del rettificatore è accordato a questa armonica, moltiplicando per nove la piccola variazione di fase o frequenza prodotta dalla bobina. L'uscita del rettificatore è accoppiata a trasformatore ad un convenzionale duplicatore a terminazione singola, il cui circuito di placca è accordato alla seconda armonica della frequenza applicata alla sua griglia o alla diciottesima armonica del segnale modulato di fase che si ha all'uscita della bobina del modulatore. Questo duplicatore è accoppiato a trasformatore ad un convenzionale tubo triplicatore che accresce a 54 la moltiplicazione di frequenza dell'uscita della bobina del modulatore. Il triplicatore è accoppiato a trasformatore all'amplificatore di potenza che è dotato dell'ordinario circuito di polarizzazione di griglia.

k) Poichè nel trasmettitore dell'SCR–508 la modulazione è effettuata dopo lo stadio amplificatore a radiofrequenza o separatore, l'oscillatore può essere controllato a cristallo, eliminando così la necessità di circuiti stabilizzatori di frequenza. Questo è il principale vantaggio del metodo a modulazione di fase rispetto al metodo a tubo di reattanza. Vi è una caratteristica della modulazione di fase che deve essere corretta prima del punto in cui diventano simili le uscite finali di entrambi i sistemi a tubo di reattanza

e a modulazione di fase. Nel variare la frequenza di una tensione a radiofrequenza *costante*, il ritmo della *variazione di fase*, e conseguentemente della frequenza, aumenta con l'aumentare della frequenza modulante. Per esempio, un'audiofrequenza di 100 cicli e di una certa ampiezza può causare una deviazione di 2 chilocicli. Una frequenza di 1000 cicli con la stessa ampiezza provocherà una deviazione di 20 chilocicli. Se la frequenza modulante aumenta di 20 volte rispetto alla frequenza originale di 100 cicli, la deviazione di 2 chilocicli risulterà quindi moltiplicata per venti. Nell'SCR–508 la esaltazione delle alte audiofrequenze, conosciuta con il nome di caratteristica di elevazione della modulazione di fase, è vantaggiosamente usata per minimizzare gli effetti interferenti dei suoni a bassa frequenza prodotti dai rumori locali entro il carro armato, suoni che sono raccolti dal microfono e irradiati dal trasmettitore.

l) La sezione ricevitore del complesso radio a f.m. SCR 508 è mostrata nella figura 213. I circuiti di questo ricevitore sono, salvo due eccezioni notevoli, quasi gli stessi di quelli usati nella sezione ricevitore dell'SCR–509.

Il ricevitore dell'SCR–508 impiega una variante del circuito base del limitatore per renderlo interamente nuovo, chiamato circuito « squelch ». Il discriminatore usato in questo ricevitore f.m. è una variante del circuito già descritto in connessione con l'SCR–508. L'oscillatore a frequenza intermedia impiega un circuito Hartley che fornisce un segnale per generare le 10 frequenze selezionabili a mezzo di pulsante e permettere l'allineamento di emergenza del ricevitore. In tutti gli altri casi questo oscillatore è reso inattivo a mezzo di un commutatore nel suo circuito di placca.

m) Il circuito limitatore per questo ricevitore f.m. è mostrato dalla figura 214. La variante è data dalla presenza della bobina d'arresto audio L_1, nel circuito catodico, che è usata per esercitare un'azione limitatrice a mezzo di controreazione sui segnali troppo deboli e di valori tali da non risentire l'azione di taglio delle punte negative dovuta al ginocchio inferiore della curva caratteristica del tubo. I segnali deboli hanno le loro punte posi-

tive tagliate per effetto del flusso di corrente di griglia quando la griglia è portata a valori positivi. Giacchè un segnale può essere troppo debole per cui la sua punta negativa non è in grado di portare il tubo all'interdizione, il taglio delle punte negative potrà non essere compiuto per effetto della normale azione limitatrice del tubo. Una componente audio provocata da variazioni di ampiezza apparirà allora nel circuito di placca. La bobina di arresto L_1 ed un condensatore C_1 nel circuito catodico offrono un'alta impedenza a questa componente audio, producendo una corrispondente caduta di tensione. Questa tensione appare nel circuito

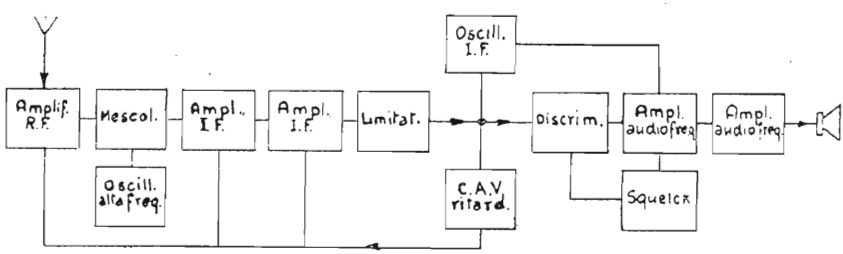


FIG. 213 - Schema semplificato del ricevitore a M.F. della S.C.R.-508.

griglia–catodo e rende positivo il catodo rispetto alla massa. Essa, pertanto, tenderà a rendere la griglia più negativa quando la componente audio agisce sulla griglia con polarità tale da renderla più positiva. Ciò fornisce un effetto di controreazione o di cancellazione della modulazione in ampiezza passiva dei segnali deboli. Con questa disposizione, anche i segnali deboli saranno di ampiezza all'incirca costante quando applicati al rivelatore.

n) In questo circuito f.m. è previsto un circuito « squelch » per eliminare la ricezione dei rumori negli intervalli fra i messaggi o quando il segnale non è forte abbastanza da permettere una ricezione utile. Questo tipo di circuito appartiene al gruppo dei circuiti di controllo, che comprende il controllo automatico di volume ritardato, ecc. Il circuito squelch non è fondamentalmente un dispositivo per modulazione di frequenza, giacchè esso è pure usato in qualche ricevitore a modulazione di ampiezza.

o) Per comprendere il circuito squelch occorre possedere qualche cognizione circa il modo di togliere i rumori, disturbi od interferenze dagli stadî a radiofrequenza del ricevitore a modulazione di frequenza. Se un segnale modulato di frequenza è di intensità sufficiente, gli impulsi statici sporadici si sovrapporranno all'onda della frequenza portante nella forma di variazione di ampiezza e saranno eliminate dalla normale azione del limitatore. Tuttavia, se il segnale modulato in frequenza è di intensità minore del doppio dell'intensità degli impulsi del rumore, la

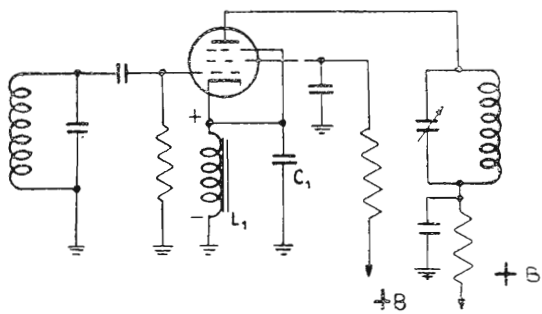


FIG. 214 - Circuito semplificato di un duplicatore nel ricevitore dell'SCR-508.

risultante di questa combinazione sarà un'onda complessa che può avere molte frequenze caratteristiche degli impulsi di rumore. L'azione di taglio del limitatore non toglierà la componente rumore di questo segnale. Il solo limitatore è pure inefficace quando non si sta ricevendo nessuna onda a radiofrequenza e l'antenna è esposta agli impulsi di rumore, poichè il taglio delle punte non eliminerà completamente gli impulsi di rumore.

p) Durante la spiegazione di questo circuito, sarà fatto riferimento alla figura 215, che mostra un diagramma semplificato del tubo squelch T_1 e dei suoi circuiti associati. Il resto del ricevitore f.m. è mostrato per semplicità in forma di diagramma a blocchi. Il resistore R_4 del divisore di tensione è connesso fra la griglia ed il catodo del tubo squelch T_1 attraverso un complesso di resistori serie–parallelo. Questo complesso consiste nelle bran-

che serie di R_{11} e R_9 in parallelo con le branche R_{10} e R_{12} e R_{13} e R_{14}. Il complesso serie–parallelo costituito da R_9, R_{10}, R_{11} e R_{12}, forma pure il carico del discriminatore. Quando non vi è segnale applicato al discriminatore come, per esempio, nel periodo fra due messaggi, non vi è tensione sviluppata ai capi di R_9 e R_{10}. Il solo voltaggio nel circuito di griglia è quello sviluppato attraverso il resistore R_4 del divisore di tensione, provocando così un'elevata corrente nel circuito di placca del tubo T_1. La tensione di placca per questo circuito è ottenuta da quella esistente ai capi di R_4 ed R_5 del divisore di tensione ed attraverso R_{16}, che è pure nel circuito di griglia del primo stadio audio. La tensione sviluppata attraverso questo resistore è grande abbastanza in ampiezza e della polarità corretta (indicata in figura) da bloccare il primo stadio audio. In questo modo, gli impulsi di rumore ed il fruscio, non possono raggiungere l'altoparlante in assenza di segnale in arrivo. Quando un segnale a radiofrequenza in arrivo è captato dall'antenna, vi sarà una caduta di tensione ai capi di R_9 e R_{10}, con la polarità indicata, per effetto del funzionamento normale del discriminatore. Queste tensioni fra loro in parallelo ed in serie con la tensione ai capi di R_4, sono applicate attraverso R_{11} e R_{12}, ed i resistori filtro R_{13} e R_{10}, fra la griglia ed il catodo del tubo T_1. La polarità delle tensioni R_9 e R_{10} tende a rendere negativa la griglia del tubo squelch rispetto al catodo. Quando la tensione ai capi di R_9 e R_{10} è abbastanza grande, come risultato di un segnale d'intensità sufficiente, da superare la tensione di R_4 e portare il tubo T_1 all'interdizione, non vi sarà corrente nel circuito di placca di T_1. Allora non vi sarà tensione sviluppata ai capi di R_{16} e l'alta tensione negativa di polarizzazione è rimossa dalla griglia del primo stadio audio permettendogli di ritornare al suo funzionamento normale. Lo scopo del complesso resistori–condensatori costituito da R_{13}, R_{14}, C_1 e C_2 è di filtrare via tutte le variazioni audio della tensione sviluppata ai capi di R_9 e R_{10} prima che essa sia applicata alla griglia del tubo squelch.

Il circuito squelch risponderà allora all'intensità media del segnale, anzichè alle variazioni istantanee di esso. Quando è stata completata la ricezione del messaggio e non vi è nuovo segnale

presente all'antenna, non vi sarà caduta di tensione ai capi di R_9 e R_{10} e la griglia del tubo squelch diventerà ancora positiva rispetto al catodo per un importo dato dalla caduta di tensione attraverso R_4. La corrente risultante nel circuito di placca di T_1 provocherà ancora una caduta abbastanza forte attraverso R_{16} da bloccare il primo stadio audio.

q) Il commutatore *S* è usato per inserire e disinserire in funzionamento il sistema squelch. Nella posizione di escluso viene

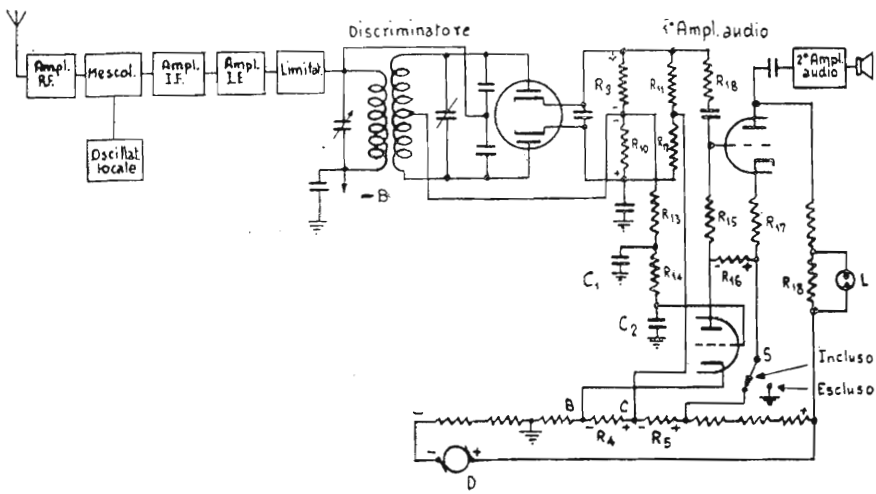


FIG. 215 – Diagramma semplificato del circuito a sistema «Squelch» usato in F.M. del ricevitore SCR-508.

messo a massa il circuito catodico del primo stadio audio sotto il resistore catodico, consentendo così il funzionamento di quello stadio. Con questa stessa operazione si mette a massa la placca del tubo squelch, portandola ad un potenziale più basso di quello del catodo dello stesso squelch, e così si viene a bloccare il tubo squelch. Ciò risente la ricezione dei segnali non abbastanza forti da essere in grado di azionare il circuito squelch.

r) Una rifinitura interessante di questo sistema squelch è data dal resistore R_{18} di 2 megahom sciuntato dalla lampada al neon *L* nel circuito di placca del primo stadio audio. Quando non

si sta ricevendo il segnale, l'azione dello squelch polarizza il primo stadio audio all'interdizione. Allora non vi è corrente nel circuito di placca del primo stadio audio, non vi è tensione ai capi di R_{18} e la lampada al neon L non si accende. Quando appare un segnale all'antenna ricevente, l'azione del circuito squelch determina un flusso di corrente nel circuito di placca del primo stadio audio e quindi una caduta di tensione ai capi di R sufficiente ad ionizzare la lampada al neon L_{18} facendola illuminare. Questa lampada è montata sul pannello frontale del ricevitore e può servire come un'efficiente avvisatore di chiamata per avvisare l'operatore all'inizio di un messaggio.

135. **Prestazioni dei sistemi a modulazione di frequenza.**

a) I trasmettitori a modulazione di frequenza sono in generale relativamente semplici ed è richiesta una piccola potenza per compiere la modulazione. Per contro, i complessi riceventi a f.m. sono alquanto più complicati dei sistemi riceventi a modulazione di ampiezza. I ricevitori per f.m. sono essenzialmente delle supereterodine nelle quali è data particolare importanza agli stadî del limitatore e del discriminatore.

b) La modulazione di frequenza presenta due importanti vantaggi rispetto alla modulazione di ampiezza.

1) Il rumore può essere facilmente ridotto ad un valore trascurabile nella maggior parte dei casi.

2) Nella trasmissione a modulazione di frequenza data l'ampiezza costante del segnale d'uscita, la potenza non varia quando è modulata la portante del segnale. Come conseguenza, i tubi possono essere fatti funzionare continuamente alla massima uscita, e non è necessaria una riserva di potenza dell'alimentatore per essere aggiunta sulle punte di modulazione, come è invece necessario nella modulazione d'ampiezza.

c) La modulazione di frequenza presenta due importanti svantaggi rispetto alla modulazione di ampiezza.

1) Uno svantaggio, da un punto di vista tattico, è dato dal fatto che di due stazioni operanti su frequenze molto vicine, un

ricevitore sente normalmente soltanto il trasmettitore più forte, i segnali provenienti dalla stazione più debole sono completamente inavvertiti nel rumore di fondo del segnale più forte. Ciò è dovuto, in parte, alla larga banda di frequenze che è necessaria per ogni canale. Poichè gli impulsi di rumore hanno qualche piccolo effetto sulla frequenza della portante, la deviazione usata deve essere grande in confronto con le variazioni di frequenza provocate dagli impulsi di rumore. In queste condizioni, qualunque variazione dovuta al rumore sarà trascurabile rispetto al segnale desiderato.

2) Per effetto di ciò, l'impiego della modulazione di frequenza è confinato alle alte frequenze, dove è disponibile la larghezza di banda richiesta. Questo è per sè stesso un altro svantaggio, poichè a queste alte frequenze le onde radio si comportano quasi come le onde luminose e l'area di servizio di un trasmettitore è confinata approssimativamente alla linea d'orizzonte della sua antenna. Tuttavia, in compenso, i disturbi statici sono generalmente a queste frequenze d'intensità minori di quelli che si verificano alle più basse frequenze delle comunicazioni.

d) Un confronto fra la modulazione di frequenza e la modulazione di ampiezza è dato nella Tabella VII.

136. **Fac-simile.**

a) Il fac–simile è un sistema di trasmissione e di ricezione di qualunque «intelligenza» che può essere registrata sulla carta, tale come disegni, fotografie, schizzi e mappe. Il fac–simile differisce dalla televisione in quanto il primo trasmette soltanto soggetti fissi, come fotografie e pagine stampate mentre la seconda tratta anche scene mobili. I problemi del fac–simile sono molto più semplici di quelli della televisione. Il principale problema di qualsiasi schema di fac–simile è quello di ottenere un mezzo trasmittente, capace di alta fedeltà di riproduzione, delle correnti ad audiofrequenza. Tale mezzo è per l'appunto fornito da un sistema radio a modulazione di frequenza.

TABELLA VII

CONFRONTO FRA MODULAZIONE DI AMPIEZZA E MODULAZIONE DI FREQUENZA

	Modulazione d'ampiezza	Modulazione di frequenza
Livello del segnale del trasmettitore	Varia con il livello della modulazione	Rimane costante durante la modulazione
Ampiezza della tensione modulante	La tensione modulante determina la variazione istantanea nel livello del segnale. Più forte è il segnale audio e più grande è la variazione istantanea nel livello della portante	La tensione modulante determina la deviazione istantanea nella frequenza della portante. Più forte è la deviazione di frequenza
Frequenza della tensione modulante	La frequenza della tensione modulante determina il ritmo di variazione dell'ampiezza dell'onda a radiofrequenza	La frequenza della tensione modulante determina il ritmo con cui varia la frequenza portante fra i suoi valori di alto e basso
Bande laterali trasmesse	La larghezza delle bande laterali trasmesse è determinata dalla frequenza dell'onda modulante. Attualmente il limite generale è di più e meno 5 chilocicli da ciascun lato della portante	La larghezza delle bande laterali trasmesse è determinata dall'ampiezza della tensione modulante. Il limite attuale negli apparati militari è di 40 chilocicli in più ed in meno della frequenza di riposo. In aggiunta vi è una banda di guardia di 20 chilocicli per la separazione dei canali adiacenti
Potenza modulante	La potenza del modulatore per la modulazione di ampiezza di placca è una metà della potenza d'ingresso di placca allo stadio modulato	La potenza del modulatore per la modulazione di frequenza è trascurabile – deve solo compensare la perdita di placca nel tubo modulatore

Segue: TABELLA VII

	Modulazione d'ampiezza	Modulazione di frequenza
Potenza portante	L'amplificatore finale deve essere capace di fornire una potenza quattro volte superiore alla prestabilita potenza portante nelle punte del 110 % di mobilitazione	L'amplificatore finale deve essere in grado di fornire soltanto la prestabilita potenza portante
Limitazione di frequenza	Con modulazione di ampiezza si può praticamente lavorare su qualunque frequenza radio	La modulazione di frequenza è normalmente impiegata a frequenze superiori ai 20 megacicli, benchè sia praticabile l'impiego della modulazione di frequenza a stretta banda di frequenze più basse sino al limite inferiore di 2 megacicli

b) Il trasmettitore in fac–simile impiega un sistema di lenti così progettato da illuminare una piccola superficie circolare (di circa 25/100 di millimetro di diametro) della copia che deve essere trasmessa. La luce riflessa dalla superficie della carta trasportante la copia è messa a fuoco su una cellula fotoelettrica, che risponde con una corrente che è proporzionale all'illuminazione. L'ampiezza di questa corrente controlla l'ampiezza del segnale generato da un oscillatore audio che a sua volta modula un trasmettitore radio. Un dispositivo meccanico sposta la macchia luminosa sulla carta da lato a lato; l'intensità della luce riflessa varia allora con il grado di luminosità della copia e modula conseguentemente il trasmettitore. Al termine della esplorazione di ciascuna linea della carta, la macchia è spostata in basso di un diametro, e così è

esplorata una nuova linea sino a completare l'esplorazione di tutto il foglio.

c) Il sistema ricevente in fac-simile contiene un rettificatore che opera partendo dall'uscita di un ricevitore ordinario. L'uscita del rettificatore presenta un potenziale unidirezionale variabile, una polarità del quale è connessa ad uno stilo di acciaio avente il diametro di 25/100 di millimetro. L'altra polarità di questo potenziale è connessa ad un tamburo metallico su cui è avvolta una carta registrante trattata in modo speciale. Lo stilo fa contatto con la carta, ed il passaggio della corrente attraverso la carta provoca la rimozione di un rivestimento chimico che si manifesta con una macchia scura, la densità della quale è in relazione alla ampiezza della corrente fluita. A mezzo di un piccolo motore rotante ad una velocità prestabilita (la velocità è regolabile) in accordo con il ritmo di esplorazione del trasmettitore, lo stilo registrante si sposta sulla carta esattamente in sincronismo con la luce esplorante del trasmettitore.

d) Negli istanti in cui il dispositivo esplorante sposta la macchia luminosa sulla linea successiva, un impulso di bassa tonalità estremamente corto è emesso dal trasmettitore. Nel ricevitore, quando è raggiunta la fine di una linea, lo stilo si è spostato sulla linea successiva ed ivi mantenuto da un fermo, mentre l'uscita del rettificatore è trasferita dallo stilo ad un elettromagnete. L'impulso successivo aziona l'elettromagnete, che rilascia il fermo e permette allo stilo di continuare la registrazione sulla nuova linea in sincronismo con l'esplorazione del soggetto trasmesso.

CAPITOLO XIV

ANTENNE - IRRADIAZIONE PROPAGAZIONE DELLE ONDE E. M.

137. Radiazione dall'antenna.

a) Dopo che nel trasmettitore è stato generato un segnale, vi deve essere un mezzo d'irradiazione dell'energia a radiofrequenza nello spazio ed un mezzo di captazione che intercetti questo segnale per trasmetterlo al ricevitore. Il dispositivo che soddisfa ad entrambe queste richieste è chiamato *antenna*. Così, l'irradiazione dell'energia del segnale originato nel trasmettitore, è inviata nello spazio a mezzo dell'*antenna trasmittente*. Questa energia, sotto forma di un campo elettrico, viaggiando nello spazio incontra un'*antenna ricevente*, inducendo in essa delle tensioni. Se il ricevitore è accordato alla stessa frequenza del trasmettitore, il segnale sarà ricevuto, amplificato e reso udibile. L'antenna ricevente non richiede un progetto molto accurato per ottenere un funzionamento soddisfacente. Per contro, il sistema di antenna trasmittente è critico in molti dettagli costruttivi.

b) Il progetto appropriato del sistema di antenna ha quasi la stessa importanza di quello della stazione trasmittente, poichè deve essere in grado di irradiare efficientemente in modo che la potenza fornita dal trasmettitore non sia sprecata. L'antenna trasmittente deve avere le esatte dimensioni previste e deve essere costruita appropriatamente: altrimenti sarà di basso rendimento.

c) Un sistema completo di antenna trasmittente consiste in tre parti distinte, come indicato dalla figura 216: il *dispositivo di accoppiamento*, per accoppiare l'uscita del trasmettitore alla linea di alimentazione; *la linea di alimentazione o di trasmissione* (« feeder »), che trasporta l'energia all'antenna; l'*antenna* propriamente detta che irradia l'energia del segnale.

d) Vi sono antenne di varie forme e dimensioni impiegate per la trasmissione radio, come pure esistono parecchi tipi elettricamente differenti di antenne. I principali fattori che determinano il tipo, la dimensione e la forza dell'antenna trasmittente da impiegare sono:

1) la frequenza di funzionamento del trasmettitore;
2) la quantità di potenza che deve essere irradiata;
3) la possibile direzione del complesso ricevente.

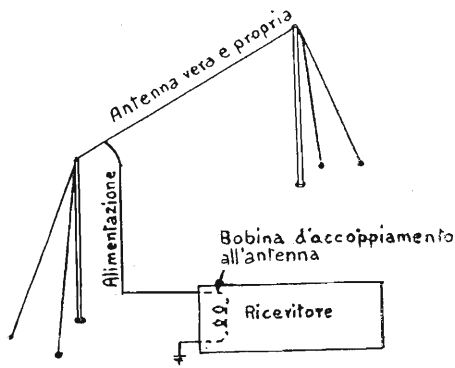


FIG. 216 - Tipico sistema d'antenna trasmittente.

e) Differenti tipi di antenne trasmittenti sono mostrati nella figura 217. Due radiatori verticali con alimentazione d'estremità sulla fusoliera del bombardiere pesante sono visibili in (1) e un'antenna a telaio è contenuta dentro la calotta schermata sotto il muso della fusoliera. Un'*antenna di Hertz*, in semionda, alimentata al centro, mostrata in (2), impiega una linea di trasmissione risuonante per portare l'energia del trasmettitore all'antenna. L'*antenna flessibile* (3) è un'*antenna Marconi* modificata, verticale, alimentata ad una estremità. L'antenna a telaio (4) irradia un forte segnale elettromagnetico in certe direzioni e quasi nessun segnale in altre direzioni. Un'altra antenna Marconi è mostrata in (5), connessa direttamente ad una stazione radiotelefonica campale. Un'*antenna Hertz* in semionda, alimentata dal trasmettitore a mezzo di una linea non risonante, è mostrata in (6). Finalmente la (7) mostra,

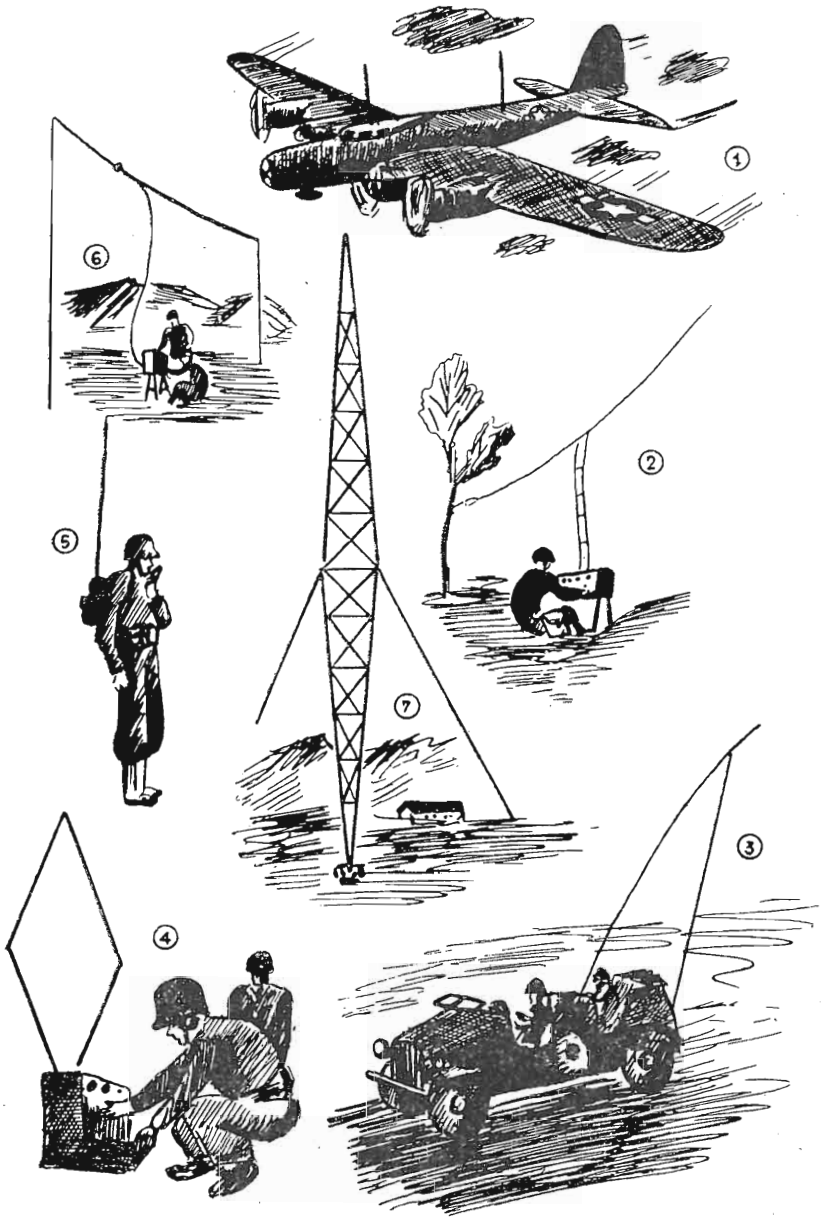


FIG. 217 - Tipi di antenne trasmittenti

un radiatore per stazione fissa che può estendersi per varie diecine di metri. Tutti questi vari tipi di antenna, insieme con i metodi di accoppiamento e quelli per trasmettere l'energia del circuito serbatoio dal trasmettitore all'antenna, saranno discussi nei seguenti paragrafi.

138. **Principî di irradiazione.**

a) La corrente alternata che percorre un conduttore crea attorno al conduttore stesso, due tipi di campi elettromagnetici, Uno, è il familiare *campo di induzione* o magnetico, a cui si debbono il funzionamento dei trasformatori e gli effetti delle bobine di arresto. Il campo di induzione diminuisce fortemente d'intensità a breve distanza dal conduttore, cosicchè i suoi effetti sono puramente locali. Il secondo tipo di campo elettromagnetico che accompagna una corrente alternata è il *campo di irradiazione.* Nel campo di induzione, l'energia è alternativamente immagazzinata in esso e successivamente restituita al conduttore, mentre nel campo di irradiazione, non è restituita l'energia al conduttore. Con l'elevarsi della frequenza, una parte sempre maggiore della energia totale, non ritorna al conduttore, ma è invece irradiata nello spazio sotto forma di onde elettromagnetiche, chiamate onde radio. L'efficiente radiazione è conseguita impiegando alte frequenze, cioè radiofrequenze da 50 chilocicli in su.

b) Nel circuito d'antenna, vari fattori influiscono sulla radiazione di queste onde radio. Se una corrente alternata è applicata ad una estremità di un tratto di filo (antenna), l'onda viaggerà lungo il filo sino a che essa raggiungerà l'altra estremità. Poichè questa estremità è libera, ivi esiste l'equivalente di un circuito aperto (punto di alta impedenza) e l'onda non può proseguire ulteriormente. L'onda allora ritorna indietro, ossia è riflessa da questo punto di alta impedenza e viaggia nel senso opposto verso il punto di partenza, dove è ancora riflessa. L'energia di questo movimento in avanti ed indietro, od oscillazione, è gradualmente dissipata dalla resistenza del filo. Tuttavia, se ogni volta che l'onda raggiunge il punto di partenza è rinforzata in misura sufficiente

a rimpiazzare l'energia perduta nella resistenza, sarà manutenuta lungo il filo un'oscillazione continua di ampiezza costante. Se la tensione alternata applicata all'estremità del filo è una tensione a radiofrequenza, all'antenna saranno applicati degli impulsi elettrici con un ritmo uguale alla frequenza della tensione r.f. Poichè questi impulsi debbono essere appropriatamente sincronizzati per poter produrre un'oscillazione persistente nell'antenna, e poichè la velocità con cui l'onda viaggia lungo il filo è costante (uguale circa a 300.000.000 di metri per secondo), la lunghezza dell'antenna deve essere tale che un'onda deve viaggiare da una estremità all'altra e ritornare ancora indietro durante l'intervallo di tempo spettante ad un ciclo della tensione a radiofrequenza. La distanza che un'onda percorre durante il periodo di un ciclo è chiamata la lunghezza d'onda, e si trova dividendo la velocità del moto per la frequenza. Se l'onda deve percorrere esattamente la lunghezza del filo e deve eseguire anche il percorso di ritorno durante il periodo di un ciclo, è evidente che la lunghezza del filo deve essere uguale a metà della lunghezza d'onda applicata. In queste condizioni, si dice che il filo è risonante alla frequenza della tensione applicata. Se la potenza a radiofrequenza è adesso applicata ad una estremità del tratto di filo, al punto A di figura 218, gli elettroni si muoveranno lungo il filo spostandosi da A verso B durante l'alternanza negativa della tensione applicata, determinando l'arresto e l'addensamento di elettroni al punto B e quindi un'alta tensione in questo punto. Nell'alternanza successiva (positiva) della tensione applicata, gli elettroni si muoveranno verso il punto A, e vi sarà un arresto ed un addensamento di elettroni a questa estremità quando gli elettroni viaggianti verso A vengono raggiunti dall'impulso successivo proveniente dalla sorgente di tensione. Ciò determina un'alta tensione in questo punto. Nel centro dell'antenna vi è sempre un movimento massimo di elettroni che provoca un'alta corrente (cariche in movimento costituiscono una corrente), e, pertanto, questo è un punto di bassa impedenza. Ne segue che una piccolissima tensione apparirà al centro dell'antenna e non fluirà corrente alle estremità di essa. Questa condizione, mostrata graficamente nella figura 219, è chiamata una

onda stazionaria. I punti di alta corrente e di alta tensione sono chiamati rispettivamente *ventri* di corrente e di tensione. La presenza di onde stazionarie denota la condizione di risonanza in un'antenna trasmittente. Poichè le onde viaggianti avanti e indietro nell'antenna si rinforzano l'una con l'altra, si avrà un massimo di irradiazione di onde elettromagnetiche nello spazio. Quando non vi è risonanza, le onde tendono a cancellarsi fra di loro, dissipando così la loro energia sotto forma di calore, anzichè essere utilizzate per la irradiazione delle radio onde.

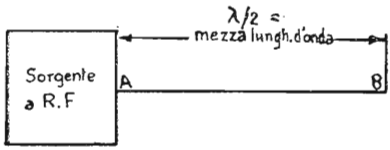


FIG. 218 - Antenna in semionda e sorgente a radiofrequenza.

c) Un filo nello spazio (un'antenna radio) risuonerà a più di una frequenza. La frequenza più bassa a cui l'antenna risuona è chiamata la sua *frequenza fondamentale;* essa è quella frequenza per cui la lunghezza del filo è circa una metà della lunghezza di onda. Un tratto di filo ad un'antenna può avere due, tre, quattro o più onde stazionarie su di esso e così risuonerà a frequenze armoniche che sono approssimativamente multipli interi della sua frequenza fondamentale.

d) Il maggior numero delle antenne trasmittenti pratiche appartiene ad uno dei seguenti gruppi: antenne Hertz e antenne Marconi.

Un'antenna Hertz è fatta funzionare ad una certa altezza dal suolo e può essere posta verticalmente od orizzontalmente. Un'antenna Marconi opera con una estremità a terra (usualmente attraverso l'uscita del trasmettitore o della bobina di accoppiamento all'estremità della linea di alimentazione). Le antenne Hertz sono generalmente usate dalle più alte frequenze, superiori a circa 2 megacicli, mentre le antenne Marconi sono usate a frequenze più basse. In certe applicazioni, le antenne Marconi possono essere pure usate alle alte frequenze, come nelle antenne per aeroplani, in cui l'aeroplano stesso diviene la terra effettiva.

FIG. 219 - Distribuzione della tensione (E) e della corrente sull'antenna fondamentale in semionda.

139. Antenna Hertz.

a) Il funzionamento dell'antenna Hertz è basato sul fatto che la lunghezza d'onda a cui qualunque filo può accordarsi dipende direttamente dalla sua lunghezza. Il radiatore è così auto-accordabile e non è necessaria nè una presa di terra, nè un contrappeso. Conseguentemente, l'antenna Hertz può essere installata dove è meno disturbata dagli effetti delle masse circostanti, come le costruzioni, od altri ostacoli, ed è pertanto più efficiente. L'antenna fondamentale discussa nel paragrafo 138 è un'antenna di Hertz.

b) La distribuzione di risonanza dell'onda stazionaria di corrente in un'antenna Hertz alla frequenza fondamentale è mostrata nella figura 220 (1). Si vede dall'onda stazionaria di corrente che

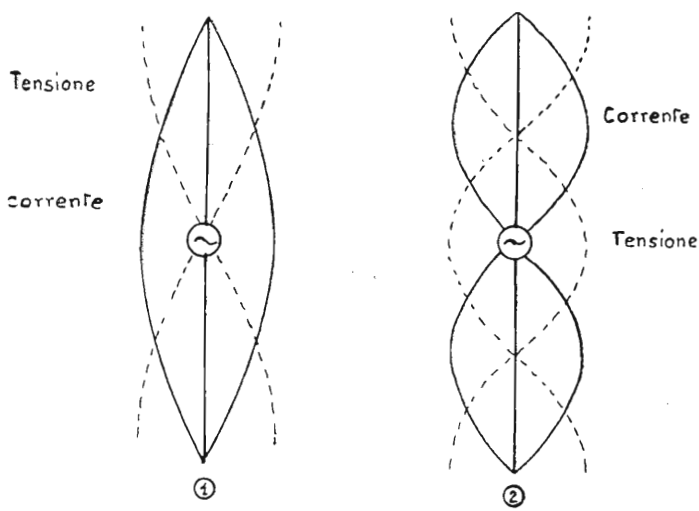


FIG. 220 - Onde di correnti e tensioni (queste ultime a linee tratteggiate) in un'antenna Hertz in semionda.
(1) Frequenza fondamentale.
(2) Frequenza seconda armonica.

un massimo di corrente, ossia un ventre di corrente, si verifica al centro dell'antenna e che vi è un minimo di corrente a ciascuna estremità dell'antenna. La lunghezza d'onda dell'onda corrispondente è doppia della lunghezza dell'antenna.

c) Quando la stessa lunghezza di antenna Hertz è eccitata con una frequenza doppia di quella della fondamentale (la seconda armonica), la risultante distribuzione dell'onda di corrente sarà come indicato dalla figura 220 (2). La lunghezza d'onda della corrispondente radiazione (seconda armonica) sarà uguale alla lunghezza dell'antenna.

d) Se l'antenna si fa di lunghezza doppia (ossia un'antenna Hertz lunga quanto una lunghezza d'onda completa), esiste la stessa condizione di risonanza, poichè l'onda stazionaria deve la sua esistenza al fatto che l'onda riflessa ritorna all'estremità di origine in fase con l'onda in arrivo. Pertanto, qualunque lunghezza multipla di mezza lunghezza d'onda ($\frac{1}{2}\lambda$, 1λ, $1{,}5\lambda$, 2λ, ecc.) produrrà le condizioni di risonanza nel tipo di antenna Hertz.

140. **Antenna Marconi.**

a) Se la metà più bassa dell'antenna Hertz è sostituita da un'estesa superficie piana conduttrice (fig. 221) non è causato alcun disturbo alle onde propagate dalla metà superiore. In altre parole la rimanente porzione di antenna lunga un quarto d'onda continuerà ad irradiare nello stesso modo come un'antenna in semionda, purchè sia presente un esteso piano conduttore. Una forma pratica di tale sistema radiante è l'antenna Marconi, in cui il terminale più basso del generatore è connesso a terra e così la superficie terrestre serve come il richiesto esteso piano conduttore. La distribuzione di corrente e tensione in tale antenna alla frequenza fondamentale sono mostrate dalla figura 222 (1). La lunghezza d'onda della radiazione alla frequenza fondamentale è quattro volte la lunghezza dell'antenna.

b) Nell'antenna Marconi con terminale a massa, la tensione è necessariamente un minimo e la corrente un massimo alla base. Per questa ragione, l'antenna può risuonare soltanto quando eccitata a frequenze armoniche dispari (terza armonica, quinta armonica, ecc.). Le distribuzioni di corrente e tensione in un'antenna Marconi, eccitata alla frequenza terza armonica, sono mostrate nella figura 222 (2).

c) Un'altra concezione del funzionamento dell'antenna Marconi è illustrata nella figura 223. Benchè un'antenna Marconi abbia una lunghezza fisica uguale ad un quarto di lunghezza di onda, essa può essere considerata funzionante come un'antenna

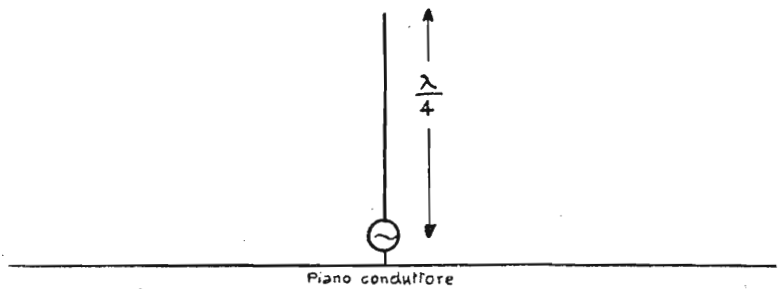


FIG. 221 - La metà più bassa dell'antenna di Hertz sostituita da un'esteso piano conduttore.

lunga mezza lunghezza d'onda. La ragione di questa peculiarità è dovuta al fatto che l'antenna vera e propria provvede per un quarto di lunghezza d'onda mentre la terra fornisce il quarto di lunghezza d'onda aggiuntivo. La lunghezza totale effettiva o elettrica è allora mezza lunghezza d'onda. Ciò è mostrato nella

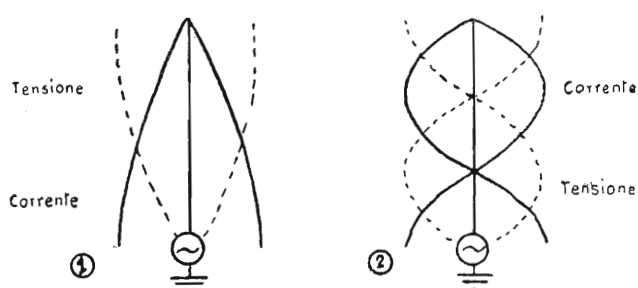


FIG. 222 - Onde stazionarie di corrente e tensione (linee tratteggiate) su un'antenna Marconi in quarto d'onda.

figura 223, dove la metà più bassa dell'antenna è stata sostituita dall'immagine della metà superiore nella terra.

d) L'antenna Marconi impiega una connessione di terra per costituire l'altra metà della sua lunghezza elettrica. Sarà ricordato

che una resistenza in un circuito accordato fa diminuire l'ampiezza della corrente ed appiattisce la selettività del circuito. In modo simile, un'alta resistenza in un'antenna ne farà diminuire l'efficienza. Per questa ragione deve essere usata una connessione di terra di bassa resistenza. Ciò non è sempre facile a compiere, poichè in molte località la terra è secca e sabbiosa. Quando ciò è il caso, è usato un contrappeso. Un contrappeso, è semplicemente un filo, un sistema di fili, o una massa di metallo, impiegato per sostituire la terra. Questo filo deve essere disteso sotto l'antenna a circa 30 centimetri sopra la terra ed isolato da essa, quando è usata un'antenna orizzontale. Con un tipo di antenna verticale è usata una disposizione di fili a raggera con il centro sull'antenna.

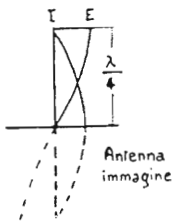


Fig. 223 - Distribuzione di tensione e corrente in un'antenna Marconi.

Questa disposizione deve pure essere a circa 30 centimetri sopra la terra ed isolata da essa. Un'antenna verticale Marconi installata su un veicolo impiega usualmente il telaio del veicolo come contrappeso.

e) I tipi di antenna Marconi sono comunemente impiegati negli equipaggiamenti militari. Il principale vantaggio dell'antenna Marconi sta nel fatto che, per qualunque data frequenza, essa è molto più corta (metà) dell'antenna Hertz. Ciò è di particolare importanza in tutte le installazioni radio campali ed a bordo dei veicoli.

141. **Frequenza e lunghezza d'antenna.**

a) È adesso pratica universale riferire le onde radio in termini di frequenza, ossia espresse in cicli, chilocicli e megacicli. Prima, le onde radio erano denotate in termini di lunghezza d'onda, l'unità essendo il metro. Nelle discussioni sui sistemi di antenne è più conveniente esprimersi in termini di lunghezze d'onde poichè queste danno qualche indicazione sulle effettive dimensioni fisiche dei fili. Per esempio, un'antenna di mezza onda per trasmissione su 50 metri è lunga 25 metri.

b) La importante relazione fra lunghezza d'onda e frequenza deve essere tenuta in mente. Poichè la velocità delle onde radio attraverso lo spazio è costante, ed è uguale a quella della luce, più numerose sono le onde che per ogni secondo passano in un dato punto, più vicine saranno le punte di queste onde. La frequenza indica il *numero* di cicli d'onda passanti per un dato punto per ogni secondo. La lunghezza d'onda indica la *distanza* che l'onda percorre durante un ciclo od oscillazione della corrente d'antenna; essa è la distanza (in metri) fra le punte adiacenti della serie di oscillazioni. Quella relazione inversa fra frequenza e lunghezza d'onda è espressa dalle formule:

$$\text{Frequenza (in cicli per secondo)} = \frac{300.000.000}{\text{Lunghezza d'onda (in metri)}}$$

e

$$\text{Lunghezza d'onda (in metri)} = \frac{300.000.000}{\text{Frequenza (in cicli per secondo)}}$$

142. **Impedenza d'antenna.**

a) Un'antenna trasmittente ha un'impedenza definita dal flusso di elettroni in ogni punto lungo la sua lunghezza. Questa impedenza varia in relazione all'importo relativo di addensamento di elettroni con l'avvicinarsi alle estremità. L'impedenza esistente in un punto qualunque è uguale alla tensione esistente in quel punto, divisa per la corrente in quello stesso punto. Così, l'impedenza più bassa si verifica dove la corrente è più alta: al centro di un'antenna Hertz in semionda, oppure ad un quarto d'onda dall'estremità di un'antenna Marconi. La più alta impedenza si verifica nei punti in cui la corrente è più bassa.

Un grafico dell'impedenza lungo un'antenna di Hertz in semionda è mostrato dalla figura 224. L'impedenza al centro di

questa antenna Hertz è di circa 73 ohm. L'impedenza di un'antenna Marconi è considerevolmente più bassa. L'impedenza cresce uniformemente verso ciascuna estremità dell'antenna, dove è di circa 2.400 ohm per un'antenna Hertz, e di valore all'incirca doppio per un'antenna Marconi verticale.

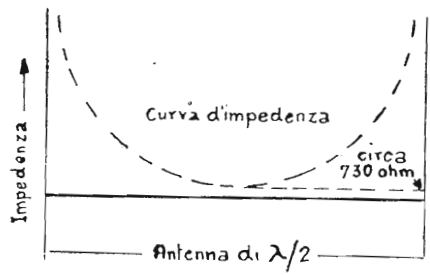


FIG. 224 - Curva d'impedenza per un'antenna Hertz di mezza lunghezza d'onda.

143. **Accordo d'aereo.**

a) È spesso desiderato impiegare un sistema di antenna adatto per la trasmissione di segnali a varie frequenze. Poichè l'antenna deve essere sempre in risonanza con la frequenza trasmessa, l'antenna vera e propria dovrebbe poter essere allungata o accorciata per questo scopo. Ma, ad eccezione delle antenne a filo scorrevole impiegate nelle installazioni a bordo di aerei, l'operazione di allungamento ed accorciamento dell'aereo non è molto pratica.

b) Lo stesso risultato può essere conseguito in modo più conveniente ponendo in serie con l'antenna un induttore od un condensatore variabile. La lunghezza elettrica di qualunque filo d'antenna può essere accresciuta o diminuita a mezzo di caricamento. Se l'antenna è troppo corta per la lunghezza d'onda da usare, essa è risonante ad una frequenza più alta di quella di eccitazione. Pertanto essa offre una reattanza capacitiva alla frequenza di eccitazione. Questa reattanza capacitiva può essere controbilanciata introducendo una reattanza induttiva concentrata, come indicato dalla figura 225 (1). In modo simile, se l'an-

tenna è troppo lunga, essa offre una reattanza induttiva, che può essere corretta introducendo una reattanza capacitiva concentrata, come indicato dalla figura 225 (3). Pertanto l'antenna di figura 225 (1) è induttivamente allungata, mentre l'antenna di figura 225 (3) è capacitivamente accorciata.

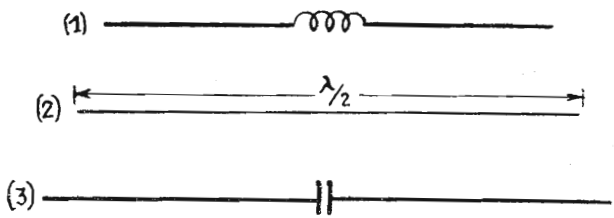


FIG. 225 - Tre antenne, tutte uguali elettricamente a mezza lunghezza d'onda.

(1) Caricamento di compensazione per un'antenna troppo corta.
(2) Antenna normale, senza caricamento.
(3) Caricamento di compensazione per un'antenna troppo lunga.

144. Linee di alimentazione risonanti.

a) Se un'antenna deve irradiare appropriatamente, vi deve essere qualche mezzo per trasferire l'energia dall'uscita del trasmettitore all'antenna. Questo trasferimento di energia è compiuto dalle linee di trasmissione o di alimentazione (« feeders ») insieme ai circuiti di accoppiamento. Vi sono due tipi generali di linee di alimentazione: le linee di alimentazione risonanti od accordate e le linee di alimentazione non risonanti o disaccordate. I feeders risonanti sono più facili a costruire e ad aggiustare per l'appropriato trasferimento del segnale all'antenna.

b) Il feeder di tensione a filo singolo in semionda è il tipo più semplice di feeder accordato. La lunghezza totale elettrica del filo (fig. 226) è una intera lunghezza d'onda della tensione a radiofrequenza applicata. Un impulso elettrico è applicato al filo nel punto P dal circuito accordato T. L'onda viaggerà lungo il filo verso E. Poichè la lunghezza del filo $P\,S\,E$ è uguale ad una lunghezza d'onda della tensione applicata, l'onda raggiunge l'estre-

mità E ed è riflessa giusto nel momento in cui la seconda onda lascia il circuito accordato T. Entrambe le onde sono viaggianti verso il punto S. Avendo uguali distanze da percorrere, esse si incontreranno al punto S, provocando un arresto ed un addensamento degli elettroni in quel punto. Gli elettroni concentratisi nel punto S si dividono in una parte fluente verso l'estremità E e l'altra parte che ritorna indietro verso P. Quando quest'ultima onda raggiunge il punto P, la terza onda esce dal circuito serbatoio T e vi è ancora un arresto ed un addensamento di elettroni in questo punto P. Come risultato finale avremo la creazione di tensioni nei

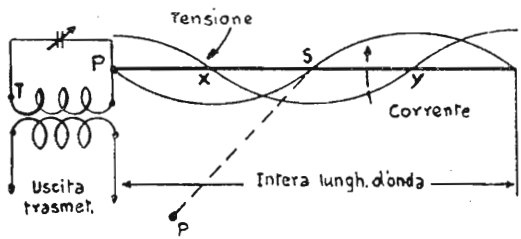


FIG. 226 - Ventri di corrente e di tensione su un'antenna di un'intera lunghezza d'onda.

punti P, S ed E. Questi punti di alta tensione a radiofrequenza saranno distanti fra di loro di una mezza lunghezza d'onda. In questo modo l'onda oscillerà fra i punti P ed S e fra i punti S ed E con le perdite dovute alle resistenze e per effetto dell'energia fornita dal circuito serbatoio T. Nei punti X ed Y vi è il movimento massimo di elettroni e pertanto sono punti di alta corrente. Se il filo di figura 226 è piegato nel punto S, come indicato dalla linea tratteggiata, e la sezione $P\ S$ è connessa al circuito serbatoio del trasmettitore, come mostrato dalla figura 227, si ottiene una disposizione conosciuta col nome di antenna alimentata di tensione con filo singolo. Il termine *tensione* è applicato a questo tipo di alimentazione, poichè la sezione $P\ S$, che è considerata quale feeder, è connessa all'antenna vera e propria nel punto S che è un ventre di tensione. Poichè esiste un ventre di tensione nel punto P del feeder, esso deve essere connesso ad un punto di alta tensione nel circuito d'accoppiamento di antenna. Poichè vi sono correnti

sia nel feeder che nell'antenna vera e propria, entrambi avranno campi di radiazione e pertanto l'angolo fra di loro deve essere di circa 90°. Il feeder *P S* deve essere approssimativamente lungo mezza lunghezza d'onda. Tuttavia, piccoli errori nella lunghezza del feeder possono essere corretti regolando il condensatore del circuito d'accoppiamento. Errori più grandi debbono essere compensati ponendo in serie con il feeder dell'induttanza o della capacità. Il vantaggio di questo tipo di alimentazione è dovuto alla sua semplicità. Lo svantaggio sta nel fatto che il feeder irradia.

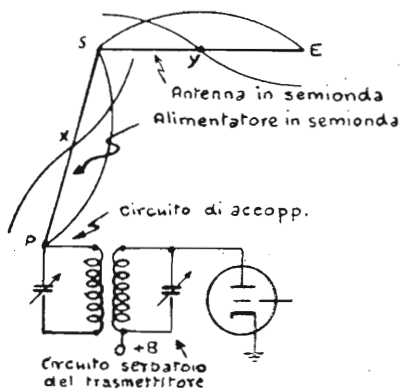


FIG. 227 - Antenna in semionda alimentata di tensione a singolo filo.

Poichè il feeder sarà usualmente installato vicino ad oggetti assorbenti, come alberi o costruzioni, questa radiazione rappresenta una perdita.

c) Un altro tipo di alimentazione di tensione è dato dal sistema di alimentazione Zeppelin (fig. 228). Sarà notato che le correnti in *X* ed *Y* di figura 226 sono di fase opposta fra di loro. Se il filo di figura 226 è piegato in *S* in modo che entrambe le metà risultino fra di loro parallele, i campi creati dalle correnti in ciascun filo saranno di fase opposta e quindi le radiazioni si cancelleranno. Tale disposizione può essere usata per alimentare una antenna come mostrato nella figura 228. La tensione è applicata ad un punto corrispondente al punto *S* di figura 226, invece che

ad un punto corrispondente al punto P. Poichè il punto S è un punto di alta impedenza, viene usato, per l'accoppiamento, un circuito accordato parallelo onde fornire un'alta tensione a radiofrequenza. Il vantaggio dell'alimentazione Zeppelin è dato dalla riduzione di radiazione del feeder con conseguente diminuzione di perdite.

d) Un'antenna alimentata di corrente, è mostrata nella figura 229. Le sezioni $E\,S$ e $S\,P$ sono lunghe ognuna un quarto di lun-

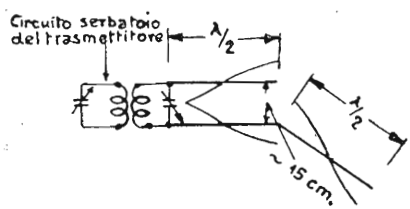


Fig. 228 - Antenna in semionda con alimentazione Zeppelin.

ghezza d'onda. Insieme esse formano una lunghezza di filo di mezza onda. Quando è applicata la tensione al punto P, esisteranno ventri di tensione e corrente come mostrati nella figura 229. Le sezioni P^1S^1 ed S^1E^1 sono pure lunghe un quarto di lunghezza di onda. Insieme, esse formano un filo lungo mezza lunghezza d'onda. Quando la tensione è applicata al punto P^1 esisteranno ventri di tensione e di corrente come indicato. Si confronti la distribuzione di tensione e corrente di ciascuna sezione in semionda con quella mostrata dalla sezione in semionda di figura 219. Poichè le sezioni $S\,P$ ed S^1P^1 sono parallele fra di loro e le correnti sono in direzioni opposte, i campi creati da queste correnti si opporranno l'un con l'altro. Ciò determina la cancellazione della radiazione di queste sezioni, che agiscono come alimentatori per sezioni di antenna $E\,S$ ed E^1S^1. Questo tipo di alimentazione è conosciuto col nome di alimentazione di corrente poichè gli alimentatori si congiungono all'antenna nei punti S e S^1 di alta corrente. Poichè esistono ventri di tensioni nei punti P e P^1, un circuito di accoppiamento accordato parallelo è usato per applicare la

tensione a questi punti. La lunghezza degli alimentatori può essere estesa a qualunque multiplo di un quarto di lunghezza d'onda. Tuttavia, sui multipli pari, come mostrato dalle linee tratteggiate, deve essere usato un circuito di accoppiamento accordato serie poichè esiste un'alta corrente alle estremità *e* ed *e'* degli alimentatori e soltanto un circuito accordato serie può fornire efficientemente questa corrente.

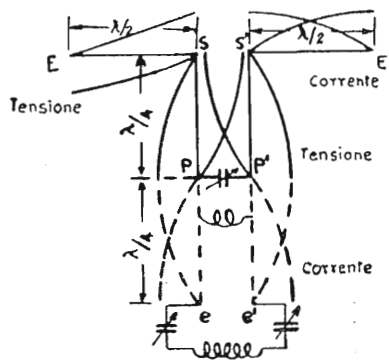


FIG. 229 - Antenna alimentata di corrente.

145. **Linee di alimentazione non risonanti.**

a) Le linee di alimentazione non risonanti hanno come principale caratteristica quella di non essere accordate. Una linea non risonante o non accordata è un alimentatore con trascurabili onde stazionarie. La tensione e la corrente hanno una distribuzione quasi costante lungo la linea, con ampiezze che vanno leggermente decrescendo verso l'estremità d'antenna per effetto delle perdite nella linea di alimentazione. Fisicamente, la linea stessa dovrebbe essere identica lungo tutta la sua lunghezza. La terminazione alla estremità d'antenna è la sola caratteristica critica della linea di alimentazione non accordata. Per l'appropriato funzionamento di una linea di alimentazione non risonante (ossia con le onde stazionarie eliminate) deve essere usata qualche forma di dispositivo di adattamento di impedenza fra la linea non risonante e

l'antenna vera e propria, in modo che la resistenza di radiazione dell'antenna sia riflessa indietro nella linea di alimentazione determinando così un'impedenza uguale all'impedenza della linea. È importante che l'antenna sia tagliata alla lunghezza esatta per la risonanza; altrimenti non presenterà un puro carico resistivo alla linea di alimentazione non risonante.

b) Una linea di trasmissione a singolo filo è mostrata nella figura 230. Questa linea di alimentazione non accordata dipende dalla terra per il suo circuito di ritorno. L'impedenza all'energia a radiofrequenza di una linea di trasmissione a filo singolo è determinata dal diametro del filo e dalla distanza sopra la terra. Una linea non risonante tipica a filo singolo ha una impedenza di circa 600 ohm. Per il massimo trasferimento di potenza dalla unità di accoppiamento *T* all'antenna (fig. 230), il filo dell'alimentatore

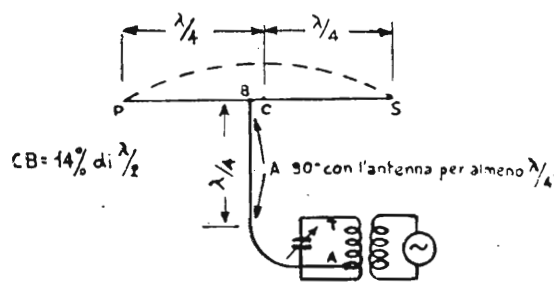


FIG. 230 - Antenna di Hertz in semionda con linea di trasmissione a singolo filo.

deve essere connesso al circuito di accoppiamento a qualche punto come *A* e all'antenna a qualche punto come *B*, dove l'impedenza di entrambi i punti sia uguale all'impedenza della linea di trasmissione. La figura 224 mostra che l'impedenza di un'antenna varia da un massimo (alle estremità) ad un minimo di circa 73 ohm (al centro). Nella figura 230 il punto *B* è posto a circa il 14 per cento di una mezza lunghezza d'onda dal centro di un'antenna in semionda. Un punto pratico per il funzionamento può essere determinato moltiplicando la lunghezza dell'antenna in semionda in metri per la costante 14: si ottiene allora la distanza in centimetri

dal centro C. Come esempio, assumiamo che la lunghezza $S\,P$ sia uguale a 30 metri: $C\,B$ sarà allora uguale a $30 \times 14 = 420$ centimetri. L'esatta posizione dei punti A e B sarà trovata sperimentalmente. È raggiunto il punto esatto quando le onde stazionarie sulla linea di alimentazione sono un minimo. La presenza delle onde stazionarie può essere rilevata a mezzo di un ondametro del tipo ad assorbimento facendolo muovere vicino all'alimentatore. Un ondametro ad assorbimento è semplicemente un circuito accordato e un milliamperometro a radiofrequenza, od una lampada al neon, per indicare la presenza delle radiofrequenze.

c) Una *linea di trasmissione a due fili* ha un'impedenza che dipende dal diametro dei due fili e dalla loro distanza. Quando si impiega il tipo di alimentatore con linea di trasmissione a due fili, le connessioni sono fatte sia sull'antenna che sul circuito di accoppiamento, nei punti in cui le impedenze si adattano alla impedenza della linea di trasmissione. Tale disposizione è mostrata nella figura 231. Quando gli adattamenti sono corretti, non si verificano

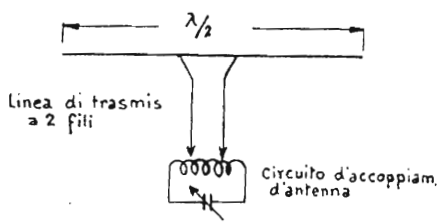


FIG. 231 – Antenna di Hertz in semionda con linea di trasmissione a due fili.

onde stazionarie lungo l'alimentatore. L'aggiustamento di questo tipo di linea di trasmissione è estremamente critico, e tale sistema di antenna può essere usato soltanto per trasmissioni con una sola frequenza. Questo metodo di alimentazione è qualche volta chiamato sistema di adattamento di impedenza a due fili.

d) Il *cavo coassiale* è un altro tipo di linea di trasmissione. Esso consiste in due conduttori concentrici, uno posto nell'interno dell'altro ed isolati fra di loro (fig. 232). L'impedenza a radiofrequenza dei cavi coassiali è bassa (usualmente intorno ai 75 ohm)

ed è determinata dai diametri dei due conduttori e dalla distanza fra di loro. Un'antenna Marconi alimentata a mezzo di un cavo coassiale è mostrata dalla figura 233. Questo metodo è occasionalmente usato quando l'antenna è distante dal trasmettitore e quando la radiazione dell'alimentatore sarebbe molto nociva. Il conduttore esterno del cavo coassiale è connesso al lato basso del circuito di accoppiamento ed è posto a massa. Il conduttore interno collega l'estremità più bassa *P* dell'antenna verticale al circuito di accoppiamento. Il circuito di accoppiamento è accordato serie poichè è necessaria un'alta corrente nel punto *P*.

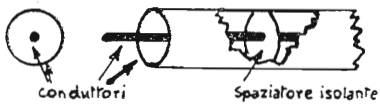


FIG. 232 - Costruzione del cavo coassiale.

e) Una *linea di trasmissione a coppia spiralizzata* è una linea composta da due fili rivestiti di gomma ed avvolti a spirale, costruita per avere un'impedenza approssimativamente uguale a quella che presenta l'antenna nella sua parte centrale. Il metodo

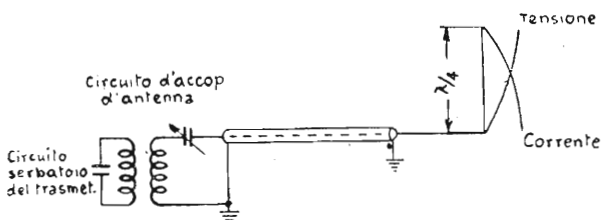


FIG. 233 - Antenna Marconi alimentata con cavo coassiale.

di connettere questa linea di trasmissione non accordata all'antenna è mostrato dalla figura 234. La discrepanza che può esistere fra l'impedenza della linea e l'impedenza dell'antenna può essere compensata allargando leggermente a ventaglio la linea nel punto in cui essa è connessa alle due metà dell'antenna (fig. 234). La linea spiralizzata è di conveniente impiego, poichè è facile ad installare e la tensione a radiofrequenza su di essa è bassa per effetto della bassa impedenza della linea. Ciò rende facile l'isolamento di essa. L'antenna vera e propria dovrebbe essere lunga mezza lun-

ghezza d'onda della frequenza di funzionamento. L'importo dell'allargamento (dimensione *B* di fig. 234) dipenderà dalla specie di cavo usato; il valore giusto sarà usualmente trovato fra 15 e 45 centimetri. Esso può essere controllato dall'inserzione di milliamperometri in ciascun braccio d'antenna nei punti di giunzione fra la linea di trasmissione e l'antenna: allora il valore di *B* che dà la corrente più forte è quello corretto. Oppure il sistema può essere fatto funzionare per un certo tempo con una potenza di ingresso a

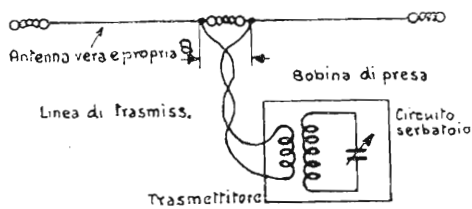


FIG. 234 - Antenna di Hertz in semionda con linea di trasmissione a coppia specializzata.

radiofrequenza abbastanza alta e dopo viene ispezionato (toccandolo) per sentire se vi sono macchie calde. Queste indicano un adattamento di impedenza non corretto ed allora l'allargamento alla sommità dell'alimentatore deve essere regolato sino a che le macchie calde siano eliminate o minimizzate. Ciascun lato del triangolo che l'alimentatore forma nel punto di giunzione all'antenna deve avere una lunghezza uguale a *B*.

146. **Metodi di accoppiamento.**

a) L'accoppiamento è usato per connettere l'uscita del trasmettitore. Se non vi è linea di trasmissione l'accoppiamento è usato per connettere direttamente l'uscita del trasmettitore all'antenna. L'accoppiamento serve ad isolare la linea di trasmissione e l'antenna dall'elevata tensione continua esistente all'uscita del trasmettitore. I dispositivi di accoppiamento sono pure usati per accordare alla risonanza i circuiti che essi connettono. Per questo scopo, essi sono generalmente provvisti di uno o più elementi variabili, tali come i condensatori variabili o gli induttori

variabili. Finalmente i dispositivi d'accoppiamento forniscono un mezzo per variare l'accoppiamento fra circuiti e pertanto possono essere usati come elementi di adattamento di impedenza onde poter effettuare il massimo trasferimento di potenza dal trasmettitore all'antenna. Vi sono parecchi metodi di accoppiamento fra il trasmettitore e le linee di trasmissione.

b) Il metodo di accoppiamento più semplice per un alimentatore a singolo filo è dato dall'accoppiamento diretto (fig. 235). Nell'accoppiamento diretto il sistema d'antenna è attaccato direttamente alla bobina del circuito accordato di placca. Poichè nel circuito accordato di placca è presente una tensione continua, un piccolo condensatore deve essere connesso in serie con l'alimentatore dell'antenna, come indicato dalla figura. Ciò impedisce all'antenna di assumere un alto potenziale continuo, che sarebbe pericoloso per la vita umana. Il punto in cui è effettuata la connessione sulla bobina del circuito accordato di placca deve essere attentamente considerato. La bobina del circuito serbatoio di placca ha un punto di zero di tensione a radiofrequenza (nodo) o al centro o ad una estremità, a seconda del tipo di amplificatore usato. Il punto di zero di tensione a radiofrequenza si ha al centro della bobina in un amplificatore in «push–pull» come pure in un amplificatore neutralizzato di placca. Il nodo di tensione si ha all'estremità più bassa della bobina, sia nel caso di un amplificatore a terminazione singola che nel caso di un amplificatore neutralizzato di griglia a terminazione singola. Se la presa è troppo vicina al nodo di tensione, l'antenna non sarà sufficientemente caricata dall'amplificatore. Se la presa è troppo vicina all'estremità di placca della bobina, risulterà un eccessivo carico, accompagnato da sovrariscaldamento dei tubi e riduzione di rendimento. Questo tipo di accoppiamento ha inoltre lo svantaggio di consentire che le armoniche esistenti nel circuito accordato vengano irradiate dall'antenna.

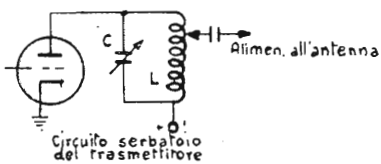


FIG. 235 - Antenna accoppiata direttamente.

c) Un secondo sistema di accoppiamento è l'*accoppiamento induttivo*, compiuto a mezzo di un trasformatore (fig. 236). In questo sistema un circuito accordato è accoppiato induttivamente al circuito serbatoio di placca. È consigliabile in questo tipo di accoppiamento di ubicare la bobina di accoppiamento d'antenna in

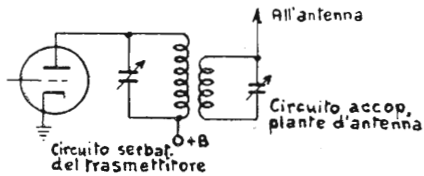


FIG. 236 - Antenna accoppiata induttivamente.

un punto di bassa tensione a radiofrequenza per impedire l'accoppiamento capacitivo fra il circuito accordato ed il circuito d'accoppiamento d'antenna. Questo sistema impedisce all'antenna di assumere un'alta tensione continua e nello stesso tempo, esso è più selettivo e riduce l'importo di radiazione armonica dell'antenna, poichè il circuito accoppiante d'antenna è accordato. Un altro metodo di accoppiamento induttivo è mostrato nella figura 237,

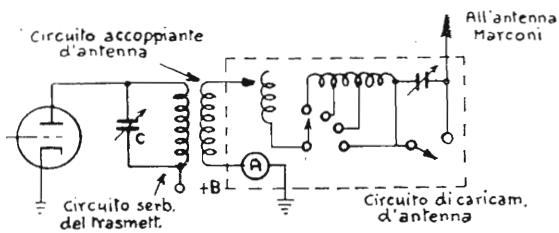


FIG. 237 - Antenna Marconi accoppiata induttivamente con circuito di caricamento.

dove un'antenna Marconi verticale alimentata di corrente, come impiegata nel trasmettitore *BC*–191, è accoppiata al circuito accordato del trasmettitore. L'accoppiamento all'antenna è nel punto più vicino a massa dove vi è un'alta corrente. Pertanto questo tipo di alimentazione è conosciuto col nome di alimentazione di

corrente. L'induttanza regolabile e la capacità racchiuse entro il rettangolo a linea tratteggiata servono per effettuare il caricamento; questo consente l'aggiustamento della lunghezza elettrica dell'antenna all'appropriata lunghezza d'onda o frequenza da trasmettere. L'accoppiamento induttivo è il metodo di accoppiamento più largamente usato, ed è impiegato in molti apparati militari.

d) Un terzo sistema simile all'accoppiamento induttivo, è conosciuto con il nome di *accoppiamento ad anello*. Questo metodo di accoppiamento è impiegato nei trasmettitori di alta potenza dove l'unità di accordo dell'antenna è distante dal trasmettitore. Un circuito tipico è mostrato nella figura 238. L'anello fra il trasmet-

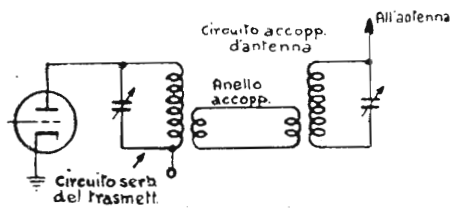


FIG. 238 - Antenna accoppiata a catena.

titore e l'unità d'antenna è costituito da poche spire di filo avvolte attorno la bobina del circuito accordato di placca e da altre poche spire accoppiate alla bobina di accoppiamento d'antenna e connesse alle prime a mezzo di linea a due fili. Approssimativamente sono richieste due o tre spire per ogni estremità. Il numero esatto è determinato sperimentalmente. Le spire di accoppiamento in questo metodo sono poste verso l'estremità della bobina di bassa tensione a radiofrequenza, per impedire accoppiamenti capacitivi ed i loro nocivi effetti.

147. **Sistemi d'accordo d'antenna.**

Quattro tipiche unità d'accordo d'antenna sono mostrate nella figura 239. In (1) il trasmettitore alimenta il sistema d'antenna in un punto di alta tensione e l'unità d'accordo può adat-

tare l'uscita del trasmettitore ad un'antenna molto corta. In (2) il trasmettitore alimenta il sistema di antenna in un punto di alta corrente e l'unità d'accordo fornisce il caricamento d'antenna appropriato per una lunga antenna. Le disposizioni (3) e (4) forniscono l'accordo d'antenna appropriato per l'impiego con antenne corte, come quelle flessibili montate nei veicoli.

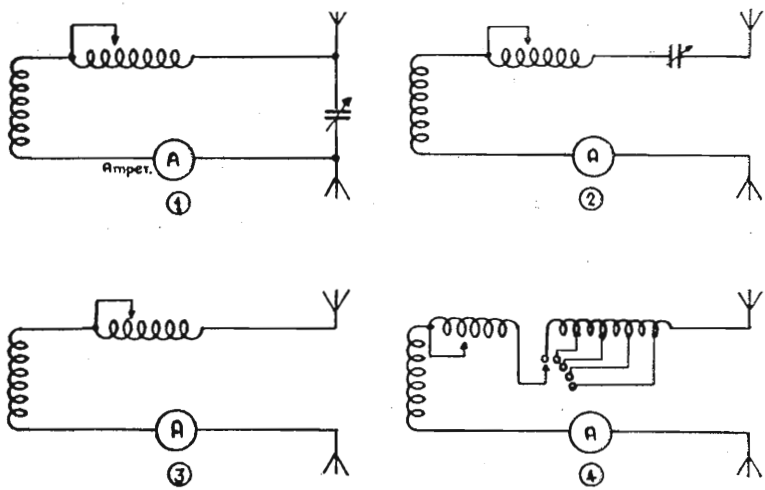


FIG. 239 - Unità d'accordo d'antenna.

148. **Proprietà direttive delle antenne.**

a) Nessuna antenna irradia energia in misura uguale in tutte le direzioni. Ciò per parecchie ragioni: primo, non vi è radiazione lungo la direzione del filo d'antenna; secondo, le onde riflesse dalla terra producono campi interferenti che possono maggiorare od attenuare la radiazione diretta normale; terzo, se nel radiatore vi è più di un ventre di corrente, la radiazione totale può essere riguardata come la risultante di un certo numero di componenti, ciascuna proveniente da un ventre di corrente di onda stazionaria. Finalmente, per una data direzione, queste varie componenti possono aver percorso distanze differenti e pertanto possono non arrivare al ricevitore con la stessa fase relativa che esse avevano

nel filo radiante. Queste componenti, possono pertanto sommarsi o sottrarsi fra di loro a seconda della direzione. Per queste ragioni le antenne posseggono proprietà direttive.

b) I sistemi di antenne direttive possono essere costruiti in due modi: primo, combinando un certo numero di antenne in semionda e, secondo, traendo profitto dalle conosciute proprietà direttive dei fili, eseguirne una conveniente disposizione. In ciascun caso le parti componenti sono alimentate in tale modo che i segnali si sommino nella direzione favorita e tendano a cancellarsi nelle altre direzioni. L'intensità del segnale nella direzione desiderata e l'acutezza del risultante fascio d'irradiazione aumenta con le dimensioni e la complessità del sistema. Degli elementi risonanti in semionda, combinati in modo tale che le componenti di radiazione di ciascun elemento siano cospiranti nella direzione favorita ed in opposizione o quasi nelle altre direzioni, costituiscono una cortina d'antenna a fascio.

149. **Propagazione delle onde radio.**

a) Come indicato dalle figure 219 e 226, la corrente lungo un'antenna non è uniforme, ma è massima al centro e minima alle estremità di ciascuna mezza lunghezza d'onda di filo. Questa corrente determina delle perturbazioni o radioonde che si propagano con la velocità della luce e possono essere rifratte o riflesse nello stesso modo delle onde luminose. Poichè la corrente è più grande nel centro dell'antenna in semionda che alle estremità, la massima radiazione ha origine da questo punto e praticamente non si ha radiazione dalle estremità. Se un'antenna in semionda fosse posta in uno spazio completamente libero dell'influenza della terra, questa radiazione sarebbe massima nelle direzioni ad angolo retto con l'antenna per l'intero angolo giro che ha centro sull'antenna. Il diagramma di irradiazione ha la forma corrispondente al solido di rivoluzione di cui alla figura 240 (dove ne è disegnato metà e la sezione generatrice). Da notare che il massimo di irradiazione ha luogo perpendicolarmente al centro dell'antenna e col decrescere

dell'angolo, che inizialmente ha il valore di 90°, decresce pure la radiazione. Tale perfetto diagramma di irradiazione ha soltanto scopo dimostrativo; esso non è mai trovato in pratica poichè le antenne radio operano in posti relativamente vicini alla terra. Il diagramma di irradiazione effettivo di un'antenna in semionda è di carattere completamente differente, poichè esso è distorto dagli effetti di riflessione della terra e del cielo. Questi effetti variano considerevolmente a seconda dell'altezza dell'antenna sopra la terra, delle condizioni solari e di altri fattori.

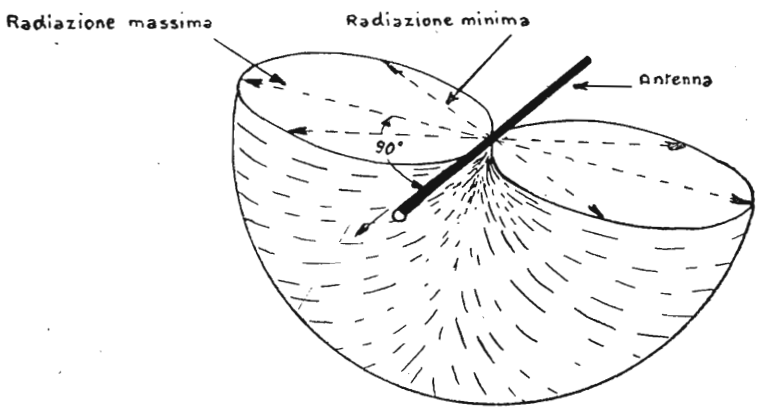


FIG. 240 - Diagramma di radiazione teorico per un'antenna in semionda.

b) Un'antenna trasmittente semplice irradia onde a radiofrequenza in quasi tutte le direzioni, benchè l'intensità delle onde possa essere più grande in certe direzioni e a certi angoli sopra la terra. Parte dell'energia irradiata viaggia lungo la superficie terrestre e costituisce l'onda terrestre o diretta. Nel viaggiare sopra la superficie terrestre, questa onda è rapidamente attenuata e per comunicazioni consistenti è utilizzabile solo per portare variabili da 20 a 50 chilometri. La rimanente parte dell'energia irradiata dall'antenna è trasmessa secondo direzioni sopra l'orizzontale, ed è chiamata onda indiretta. Questa energia è parzialmente rinviata alla terra dall'effetto riflettente prodotto dagli strati di elettroni

liberi che esistono fra 100 e 300 chilometri sopra la superficie terrestre. Questi strati ionizzati, costituenti la ionosfera, possono riflettere o rinfrangere parte dell'onda indiretta verso la terra e produrre così dei segnali radio in punti distanti dall'antenna trasmittente. La figura 241 illustra l'onda diretta e l'azione delle onde indirette emananti da un'antenna trasmittente.

c) L'importo di incurvamento dell'onda indiretta prodotto dalla ionosfera dipende dalla frequenza dell'onda e dall'importo di

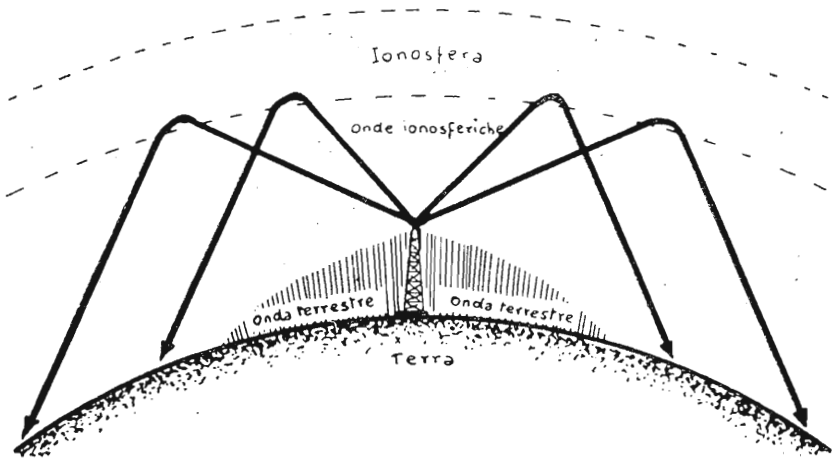


FIG. 241 - Onda terrestre a riflessione delle onde ionosferiche della ionosfera.

ionizzazione della ionosfera, che a sua volta dipende dalla radiazione solare. Il sole aumenta la densità degli strati ionosferici e ne abbassa l'effettiva altezza. Altre perturbazioni solari e magnetiche producono variazioni in questi strati. Per queste ragioni le radioonde si comportano in modo differente nelle diverse ore del giorno, nelle diverse stagioni dell'anno e in posti differenti sulla superficie terrestre. Più è alta la frequenza di una radioonda e più profondamente essa penetra nella ionosfera e meno essa tende ad incurvarsi per ritornare alla terra. Alle basse frequenze radio, le onde indirette sono incurvate più facilmente e poche penetrano nella ionosfera.

d) Quando si varia la direzione di un'onda radio, partendo dall'orizzonte ed avvicinandosi man mano alla verticale, viene ad un certo punto raggiunta una certa direzione chiamata critica. Se la direzione dell'onda è più prossima alla verticale essa penetra nella ionosfera. L'angolo fra questa direzione critica e la verticale, misurato al punto dove l'onda incontra la ionosfera, si chiama *angolo critico* (fig. 242). Le onde indirette che colpiscono la ionosfera secondo gli angoli minori di quello critico penetrano negli strati

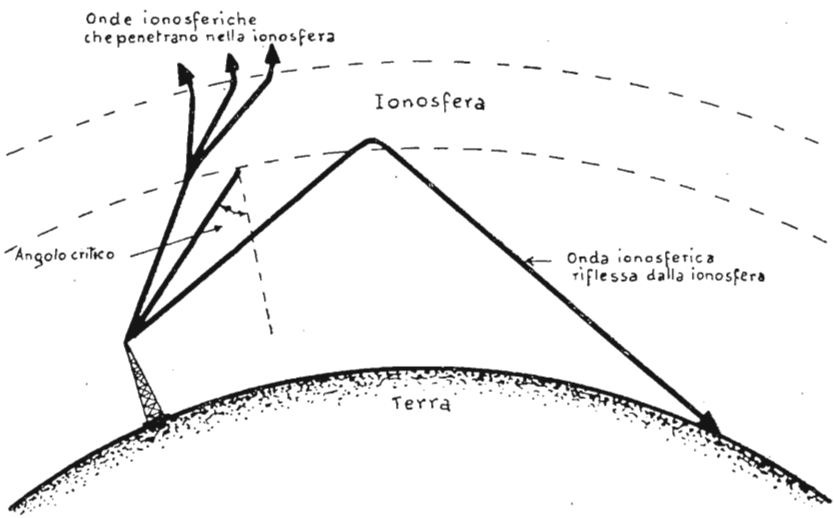


FIG. 242 - Angolo critico nella propagazione dell'onda ionosferica.

ionizzati e non ritornano più verso la terra. Le onde indirette che colpiscono la ionosfera secondo angoli maggiori dell'angolo critico sono riflessi verso la terra (fig. 242).

e) Le onde indirette che colpiscono la ionosfera secondo l'angolo critico sono rinviate alla terra ad una distanza del trasmettitore chiamata la distanza di silenzio. Le onde indirette non ritorneranno alla terra a distanze inferiori a quella del silenzio. Distanze di silenzio di parecchie centinaia di chilometri sono comuni alle più alte frequenze. La porzione dell'onda indiretta che è riflessa ed inviata alla terra non scende verticalmente giù ma è riflessa

secondo un angolo che è uguale a quello con cui quella particolare onda colpisce la ionosfera (fig. 243). L'onda indiretta dopo di essere riflessa dalla ionosfera, colpisce la terra, e può essere riflessa nuovamente dalla terra e quindi ancora dalla ionosfera. Questo procedimento continua sino a che l'onda radio non sia stata completamente assorbita.

f) Più grande è la frequenza dell'onda indiretta e più grande sarà sia l'angolo critico che la distanza di silenzio. Quando i raggi

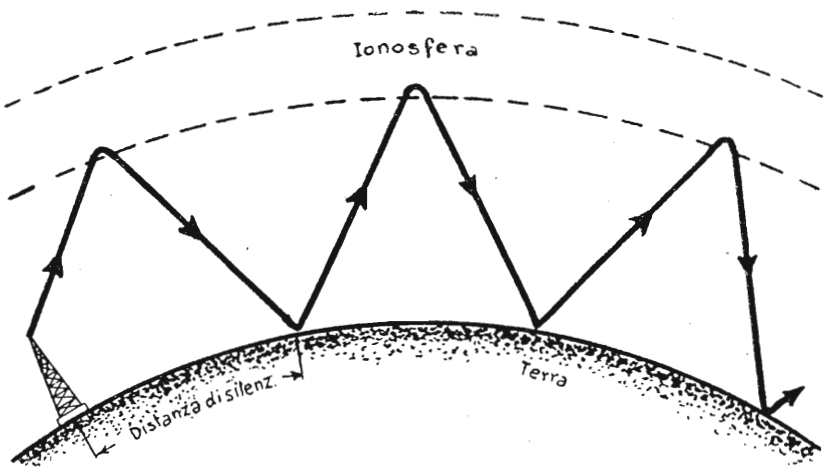


Fig. 243 - Distanza di silenzio.

solari sono a piombo sulla superficie terrestre la densità della corrispondente ionosfera è più grande. Questa condizione fa diminuire la distanza di silenzio. Pure per questa ragione la distanza di silenzio è minore sia di giorno che di notte. Le variazioni stagionali nella posizione della ionosfera e le variazioni risultanti dall'attività delle macchie solari sono pure fattori determinanti la distanza di silenzio.

g) Parte dell'energia dell'onda indiretta è assorbita dalla ionosfera. L'assorbimento di giorno è più grande per le frequenze più basse. Pertanto, più è alta la frequenza e più forte è il segnale. Tuttavia, vi è un limite superiore nella frequenza che può essere

usata, poichè la distanza di silenzio aumenta pure con la frequenza.

h) È possibile l'esistenza di un intervallo fra il punto più distante raggiunto dall'onda diretta ed il punto dove l'onda indiretta è per la prima volta riflessa e rinviata a terra. Tale condizione è mostrata nella figura 244. Questo intervallo costituisce la *zona di silenzio*, ed a questa zona si deve il fatto che un segnale può essere ricevuto ad una distanza dal trasmettitore che è più

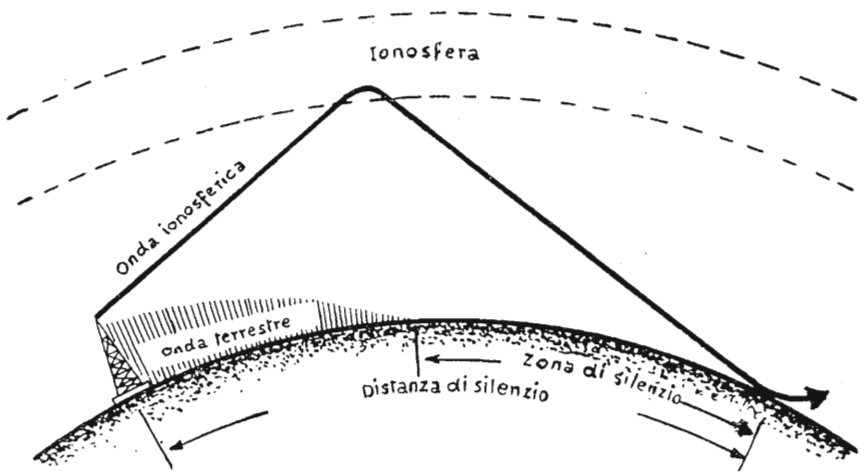


FIG. 244 – Zona di silenzio, nella quale i segnali non sono ricevuti.

grande di un'altra entro cui il segnale non può essere ricevuto. Occorre aver cura di non usare una frequenza di trasmissione che pone la stazione ricevente entro la zona di silenzio.

i) Un'onda a radiofrequenza che lascia un'antenna avrà una definita polarizzazione. La direzione della componente elettrica dell'onda radiata è nello stesso piano in cui giace il filo d'antenna, ed in radiotecnica si dice usualmente che l'onda è polarizzata in questo piano. Così, una radiazione proveniente da un'antenna verticale si dice che è polarizzata verticalmente, mentre la radiazione dovuta ad un'antenna orizzontale si dice che è polarizzata orizzontalmente.

l) Quando un'antenna è posta verticalmente, vi sarà un uguale importo di radiazione in un piano orizzontale (parallela alla superficie terrestre) in tutte le direzioni uscenti dall'antenna. Ma quando l'antenna è posta orizzontalmente, la più grande radiazione sarà verso l'alto. La radiazione lungo la terra sarà più grande lateralmente all'antenna.

150. **Fading.**

a) L'occasionale innalzamento ed abbassamento dell'intensità di ricezione di un segnale, chiamato *fading*, può essere attribuito all'interazione di componenti diverse dalla stessa radiazione che, per effetto di percorsi differenti, lungo il loro viaggio dal trasmettitore al ricevitore, giungono al ricevitore con relazioni di fase variabili, tendendo così a cancellarsi od a rinforzarsi fra di loro. Poichè la condizione della ionosfera è continuamente variabile, le varie componenti dell'onda ricevuta possono rinforzarsi fra di loro producendo in un dato istante un forte segnale, mentre un istante dopo le loro relazioni di fase possono essere tali che il loro effetto combinato dia luogo ad un segnale molto debole.

b) Una causa comune di fading, dovuta all'interazione di due componenti della stessa radioonda è mostrata nella figura 245. Ad una certa distanza (R) dal trasmettitore, possono essere ricevute sia l'onda diretta che quella indiretta. Poichè queste onde hanno eseguito percorsi diversi non sono in fase fra di loro. Quando ciò accade le due onde tendono a neutralizzarsi (cancellarsi) fra di loro nel punto R (fig. 245). Un'altra causa comune di fading è dovuta all'interferenza delle componenti di una singola onda indiretta. In questo caso, le varie componenti raggiungeranno il ricevitore R con differenze di fasi variabili per cui risulterà un segnale continuamente variabile (fig. 246). Variazioni violente nella ionosfera, chiamate tempeste ionosferiche, possono pure produrre un severo fading, specialmente per frequenze superiori a 1.500 chilocicli. Queste perturbazioni possono perdurare fino a parecchie settimane e sono causate da notevole attività delle macchie solari.

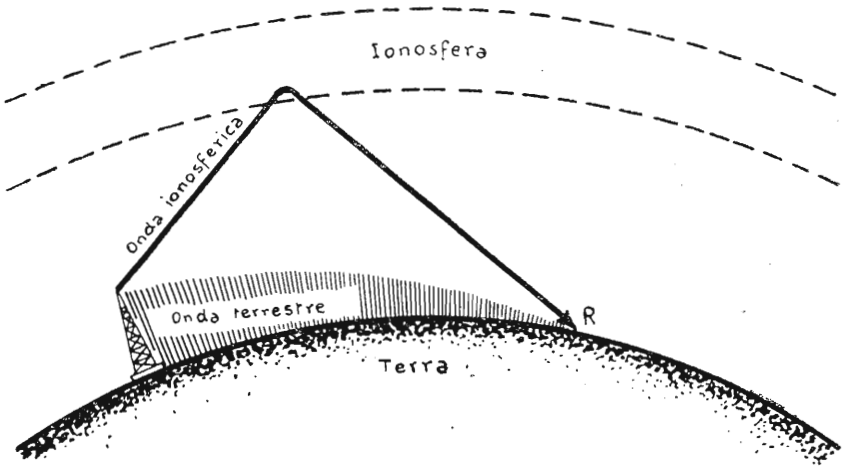


FIG. 245 - **Fading** causato dall'arrivo fuori fase dell'onda terrestre e dell'onda ionosferica nelle stesso punto (*R*).

c) Il metodo più comune per superare gli effetti dannosi del fading consiste nell'accrescere la potenza del trasmettitore. L'impiego del controllo automatico di volume nel ricevitore compenserà le variazioni minori dell'intensità del segnale. Un altro metodo

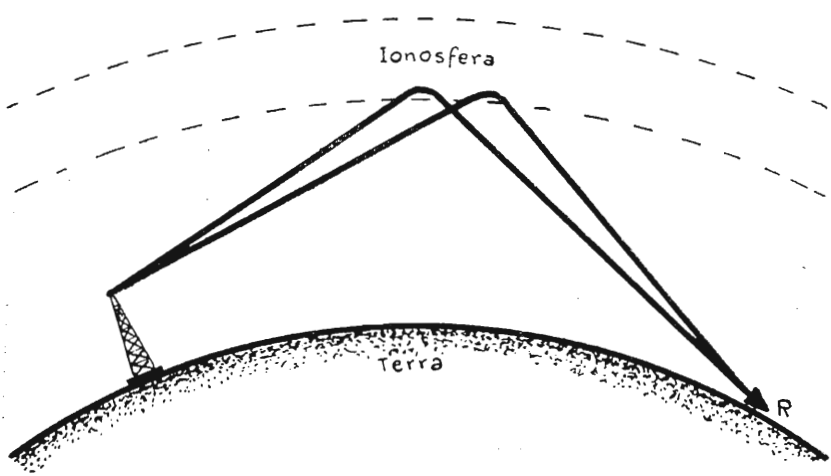


FIG. 246 - **Fading** causato dall'arrivo fuori fase di due onde ionosferiche nello stesso punto (*R*).

usato per vincere il fading nei ricevitori fissi è conosciuto con il nome di *ricezione per diversità*. In questo caso, due o più antenne riceventi, spaziate fra di loro, alimentano lo stesso ricevitore. Così, se il fading si verifica per un'antenna, l'altra antenna può ancora ricevere il segnale più intenso.

151. **Effetto della frequenza sulla propagazione delle onde.**

a) A *basse frequenze* (da 30 a 300 chilocicli) l'onda diretta o terrestre è estremamente utile per le comunicazioni a notevoli distanze. Poichè la ionosfera non influisce su queste frequenze, i segnali sono molto stabili ed hanno piccole variazioni stagionali. A distanze più grandi l'onda indiretta acquista importanza maggiore dell'onda diretta e si può impiegare con fiducia se sono scelte le frequenze convenienti.

b) Nella banda *delle medie frequenze* (da 300 a 3000 chilocicli), la portata dell'onda terrestre varia da circa 25 chilometri a 3000 chilocicli a circa 600 chilometri alle frequenze più basse della banda. La ricezione dell'onda indiretta è possibile durante il giorno o la notte a qualunque delle più basse frequenze di questa banda, ma l'assorbimento di giorno dell'onda indiretta, aumenta con l'aumentare della frequenza fino a 1400 chilocicli. Al di là di questo punto l'assorbimento decresce con l'aumentare della frequenza sino a che è raggiunta la banda delle frequenze molto alte (v.h.f.). Pertanto, alle più alte frequenze della banda delle medie frequenze, la ricezione durante il giorno dell'onda indiretta non è possibile, per effetto dell'alto assorbimento. Tuttavia, di notte, l'onda indiretta dà ricezione fino a distanze dell'ordine di 10.000 chilometri.

c) Nella banda delle *alte frequenze* (da 3 a 30 megacicli), la portata dell'onda terrestre diminuisce con l'aumentare della frequenza. In questa gamma le onde indirette sono principalmente governate dalle condizioni ionosferiche. Di notte vi può essere una zona di silenzio per frequenze così basse come 3 megacicli mentre le frequenze superiori a 8 o 10 megacicli penetreranno la ionosfera sotto tutti gli angoli. Tuttavia, di giorno, le condizioni

ionosferiche sono differenti. Frequenze di circa 3 megacicli saranno fortemente assorbite, di giorno, per cui sono di poco valore per qualunque distanza. Per corte distanze, fino a poche centinaia di chilometri, le frequenze, fra 5 e 10 megacicli, sono in grado di giungere a destinazione di giorno. Tuttavia, per lunghe distanze, possono essere usate frequenze da 15 a 30 megacicli, in dipendenza delle condizioni atmosferiche.

d) Alle frequenze più basse della banda delle *frequenze molto alte* (v. h. f.), ossia da 30 a 3000 megacicli non vi è onda diretta utilizzabile e la riflessione delle onde indirette dalla ionosfera è trascurabile. Si può eseguire con successo la comunicazione se le antenne trasmittenti e riceventi possono essere sufficientemente elevate sopra la superficie terrestre da consentire l'impiego di un'onda spaziale diretta. Per effetto delle sporadiche condizioni ionosferiche, la trasmissione per qualunque grande distanza è soltanto possibile per certi periodi di tempo.

e) Nella banda delle *ultra alte frequenze* (u.h.f.) ossia da 300 a 3000 megacicli ed oltre, l'onda spaziale deve essere usata per tutte le trasmissioni radio e la comunicazione è limitata a distanze leggermente superiori alle visuali d'orizzonte. La mancanza di statici e di fading in queste bande rende la ricezione entro la distanza di visuale diretta molto soddisfacente. Possono essere costruite antenne altamente direttive di piccole dimensioni che concentrano l'energia a radiofrequenza in un fascio molto stretto, accrescendo così l'intensità del segnale.

152. **Antenne di prova.**

Quando occorre provare degli apparati radio nella zona di combattimento, non è permesso impiegare un'antenna irradiante, perchè questa non solo permetterebbe l'individuazione del trasmettitore a mezzo dei radiogoniometri nemici, ma pure affollerebbe lo spazio di segnali non necessari. Per eliminare la possibilità di far giungere nello spazio segnali non autorizzati, è usata un'antenna di prova (od artificiale). Questo dispositivo agisce

come un carico per il trasmettitore senza irradiare segnali. Le antenne di prova consistono in un condensatore, di capacità sufficiente per far passare la richiesta uscita a radiofrequenza del trasmettitore, e in un resistore grande abbastanza da assorbire questa energia e dissiparla in calore. Questi elementi sono connessi in serie attraverso i terminali d'uscita del trasmettitore. Le antenne artificiali impiegate per prove sui trasmettitori sono dotate di parecchi condensatori in serie e di prese diverse, così da approssimare la reattanza capacitiva richiesta per coprire una larga banda di frequenze.

153. **Antenne riceventi.**

Qualunque buona antenna trasmittente è pure una buona antenna ricevente, specialmente quando deve ricevere la frequenza per cui è stata progettata. Per effetto di ciò il maggior numero di complessi militari impiegano la stessa antenna sia per trasmettere che per ricevere. In molti casi si può ottenere una buona ricezione con un'antenna di ripiego per effetto dei forti segnali esistenti nel punto di intercettazione. Tuttavia, più sono accurati il progetto e la costruzione dell'antenna ricevente, migliore sarà la ricezione.

CAPITOLO XV

COMUNICAZIONI A FREQUENZE MOLTO ALTE (V. H. F.)

154. Caratteristiche generali delle onde v. h. f.

a) Il termine frequenze molto alte si riferisce a quelle frequenze dello spettro radio comprese fra 30 megacicli e 300 megacicli, ossia espresse in lunghezza d'onda, da 10 metri ad 1 metro. Trasmissioni radio di molti tipi sono comuni nella banda v. h. f., principalmente per l'assenza di disturbi atmosferici e per la buona stabilità delle trasmissioni a queste frequenze.

b) Le onde v. h. f. generalmente non sono regolarmente rinviate a terra alle grandi distanze. La comunicazione normale a mezzo delle frequenze molto alte è ottima entro la portata della linea di visuale diretta, ma, in generale sarà possibile per distanze da due o tre volte più grandi di questa, per effetto della rifrazione atmosferica. Le comunicazioni per distanze molto più grandi di quella corrispondente alla linea di visuale diretta, sono occasionalmente possibili, dato che sono dovute a non usuali condizioni atmosferiche ed ionosferiche. Tuttavia, i sistemi radio v. h. f. sono raramente usati per scopi militari terrestri, quando la distanza fra l'antenna trasmittente e quella ricevente è maggiore di 50 chilometri. Gli apparati a bordo di aerei, per effetto della favorevole elevazione, sono spesso capaci di superare portate di gran lunga maggiori.

155. Propagazione delle onde v. h. f.

a) Per frequenze superiori a 30 megacicli, l'incurvamento delle onde negli strati ionosferici normali è così piccolo che l'onda indiretta non sostiene una parte importante nella comunicazione. Per di più la portata dell'onda terrestre è pure estremamente limitata per effetto dell'alto assorbimento nella terra a questa frequenza. L'energia a radiofrequenze proveniente dall'antenna

trasmittente e che arrivi all'antenna ricevente è trasportata da un'onda spaziale attraverso l'atmosfera. I punti trasmittente e ricevente dovrebbero essere sufficientemente elevati da consentire un tale cammino di trasmissione. Nel calcolare la portata alle frequenze molto alte, debbono essere presi in considerazione la curvatura della terra e gli ostacoli del terreno.

b) L'altezza delle antenne determina la distanza a cui è ancora possibile la ricezione del segnale v.h.f. La distanza orizzontale v. h. f. o la linea di visuale radio-elettrica può essere calcolata a mezzo di una semplice formula, molto precisa soltanto sopra l'acqua, o quando il terreno è quasi piano senza ostacoli; essa serve come una guida utile nelle condizioni differenti da quelle ideali. Quando è conosciuta l'altezza (H) in metri di un'antenna trasmittente sopra il livello della terra, la distanza in chilometri lungo l'orizzonte v.h.f. (o linea di visuale radio elettrica) può essere trovata nella relazione:

$$S \text{ (lunghezza della linea di visuale radioelettrica)} = 4 \sqrt{H}.$$

La formula di cui sopra vale per un'antenna ricevente che si trovi al livello del terreno. Quando l'antenna ricevente è elevata, come avviene più di frequente, il cammino totale v.h.f. è dato dalla somma delle due distanze orizzontali v.h.f. spettanti alle due antenne, ognuna calcolata con la formula di cui sopra. In altre parole, la distanza totale v. h. f. dalla torre H_1 alla torre H_2 (fig. 247) diviene:

$$S_1 + S_2 = 4 \sqrt{H_1} + 4 \sqrt{H_2}.$$

c) Sotto certe condizioni meteorologiche, la portata di trasmissione delle onde è qualche volta molto grande ed è dovuta all'accresciuta rifrazione della troposfera (atmosfera più bassa). Sono state osservate trasmissioni v.h.f. sino a distanze di 900 chilometri sotto queste condizioni occasionali. Ma tali condizioni sono rare e non possono prendersi in considerazione per effettuare delle comunicazioni consistenti, su cui si possa aver fiducia.

d) Le onde v. h. f. manifestano gli effetti della polarizzazione, particolarmente quando l'onda spaziale è usata per comunicazioni locali. Così se è usata un'antenna a dipolo orizzontale in trasmissione, sarà necessario usare una simile antenna orizzontale in ricezione per ottenere ottimi risultati. In modo simile, un'antenna verticale irradierà onde polarizzate verticalmente, che richiedono l'impiego di un'antenna ricevente verticale.

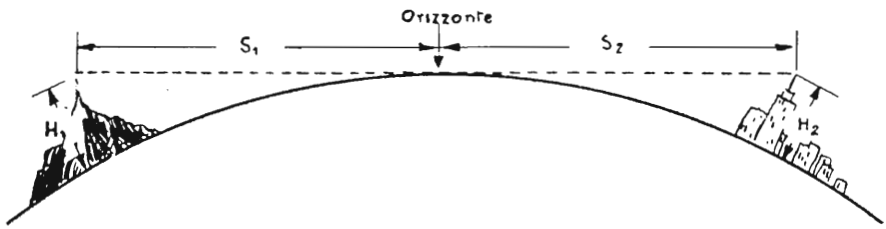


FIG. 247 - Metodo per determinare la distanza totale di linea di visuale quando il trasmettitore ed il ricevitore sono entrambi elevati.

156. Elementi dei circuiti alle frequenze molto alte.

a) I circuiti usati alle frequenze molto alte sono teoricamente in gran parte gli stessi di quelli usati alle frequenze di comunicazione più basse, ma la loro struttura fisica acquista più importanza al crescere della frequenza. Ciò perchè le dimensioni fisiche dei circuiti v. h. f. divengono comparabili alla lunghezza d'onda del segnale v. h. f. che passa attraverso i circuiti. Le onde stazionarie *dentro* il circuito sono comuni, con il risultato che le correnti e le tensioni non hanno la stessa ampiezza nei diversi punti di un filo conduttore.

b) Alle frequenze molto alte, la dimensione e la relativa ubicazione di ogni componente di un trasmettitore o di un ricevitore hanno molta importanza. Vi è sempre presente qualche capacità fra ogni punto di un filo e le componenti che lo circondano. La induttanza e la capacità distribuite di ogni filo e delle parti componenti hanno un effetto sul funzionamento dell'intero complesso del circuito v.h.f. Spesso, un singolo e corto conduttore lineare può essere usato in sostituzione di una bobina e di un condensatore per

accordare un circuito v.h.f., poichè esso possiede la necessaria induttanza e la necessaria capacità distribuite. Tutte le parti del circuito v.h.f. ad alto potenziale a radiofrequenza debbono essere bene isolate.

c) Con l'aumentare della frequenza, la corrente in un conduttore tende sempre più a viaggiare sulla superficie esterna del conduttore, ed alle frequenze molto alte la corrente viaggia interamente sulla superficie del conduttore. Questo fenomeno è chiamato *effetto pelle*. La resistenza può soltanto essere diminuita impiegando conduttori di grandi superfici come i tubi di rame. Unità di tubi concentrici (coassiali) in quarto d'onda sono spesso usate come circuiti d'accordo alle frequenze molto alte.

157. Tubi a vuoto alle frequenze molto alte.

a) Quando la frequenza è accresciuta fino a raggiungere l'ordine di due centinaia di milioni di cicli per secondo, il tempo che gli elettroni impiegano per superare la distanza catodo–placca diventa una parte apprezzabile di un ciclo completo. Una tensione sulla griglia controllo del tubo può far variare il numero di elettroni che vanno alla placca, ma questa variazione si fa sentire sulla corrente di placca solo dopo un certo intervallo di tempo.

Pertanto il tempo di transito degli elettroni può essere considerato equivalente ad un effetto induttivo ritardatore di un circuito sommario. Le capacità infraelettrodiche del tubo (fra gli elementi del tubo) acquistano pure notevole importanza alle frequenze molto alte. Per eliminare entrambi questi effetti nocivi di limitazione, presenti in tutti gli ordinari tubi a vuoto sono stati sviluppati speciali tubi per le frequenze molto alte. Il tubo « ghianda » ne è un esempio. I tubi a vuoto più convenienti per impiego v. h. f., sono quelli aventi basse capacità infraelettrodiche, stretta spaziatura fra gli elettrodi per ridurre il tempo di transito, alto fattore di amplificazione ed un basso o medio valore ottimo di impedenza di placca. Benchè una parte di questi requisiti siano incompatibili fra di loro, sono stati prodotti dei tubi che sono ben adattabili per il funzionamento v.h.f.

b) Trattando i tubi a vuoto trasmittenti per uso v. h. f., è necessario prendere in considerazione alcuni fattori che sono trascurabili alle frequenze più basse. Dato il flusso attraverso gli elementi del tubo di forti correnti di carica alle v. h. f., vi è il pericolo di un sovrariscaldamento dei conduttori e l'efficienza del tubo è ridotta per effetto del tempo di transito e delle perdite nell'impedenza di carico. Inoltre, i circuiti costituiscono usualmente un carico piuttosto forte per i singoli tubi v. h. f. Per queste ragioni, i tubi ordinari debbono essere fatti funzionare sotto tensioni di placca e di griglia considerevolmente ridotte (con conseguente più bassa efficienza). I triodi trasmittenti sono molto difficili a neutralizzare. I pentodi alle *frequenze molto alte* hanno lo svantaggio di possedere altissime capacità d'ingresso.

158. **Circuiti accordati con linee coassiali.**

Alle frequenze estremamente alte è difficile ottenere un soddisfacente importo di selettività e d'impedenza da un'ordinaria coppia di bobina e condensatore usata come circuito risonante. A queste frequenze, sezioni di linee di trasmissioni coassiali lunghe un quarto d'onda, non solo sono migliori, ma hanno pure dimensioni pratiche. Le linee di lunghezza uguale ad un multiplo intero di un quarto d'onda risuoneranno indipendentemente dal rapporto del diametro allo spaziamento del conduttore, ed esse possono essere accordate (se non caricate con capacità) sostituendo un condensatore variabile alla barra o disco di cortocircuito.

159. **Ricevitori v. h. f.**

a) La ricezione dei segnali della banda delle frequenze molto alte (da 30 a 300 megacicli) è compiuta a mezzo di uno qualsiasi dei tre differenti tipi di ricevitori, a seconda della frequenza da ricevere. La supereterodina è usata quasi universalmente per frequenze sotto i 60 megacicli (5 metri), a causa della sua stabilità e selettività. Benchè le supereterodine possono essere costruite per funzionare fino a frequenze così alte come 100 megacicli (3 metri),

il tipo di ricevitore a super reazione è molto più largamente usato, e sopra i 100 megacicli esso è usato quasi esclusivamente. Il terzo tipo di ricevitore impiega linee coassiali accordate e tubi a vuoto speciali v. h. f. per la ricezione delle onde a frequenze superiori a 300 megacicli (1 metro).

b) Il circuito generale per la supereterodina v.h.f. è simile a quello della supereterodina impiegata per le comunicazioni a frequenze più basse, con una leggera modifica per aumentare la selettività. Il diagramma a blocchi di un ricevitore tipico a supereterodina v.h.f., progettato per funzionare intorno a 60 megacicli, è mostrato nella figura 248. Il segnale in arrivo v.h.f. è amplifi-

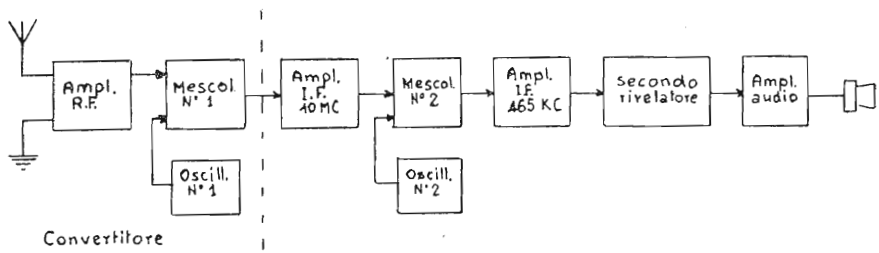


FIG. 248 - Diagramma a blocchi di un ricevitore a supereterodina tipico v. h. f.

cato ed accoppiato allo stadio mescolatore. Un'oscillazione generata localmente è mescolata con il segnale e il risultato è una frequenza intermedia di circa 10 megacicli. Tuttavia, poichè non è possibile ottenere un'alta selettività con un ragionevole numero di circuiti a 10 megacicli, questa frequenza è ulteriormente amplificata ed alimentata ad un secondo mescolatore. Una seconda combinazione oscillatore–mescolatore produce una seconda frequenza intermediaria, di circa 465 chilocicli, la quale agisce allora nel modo convenzionale. Così, la supereterodina v. h. f. ha due frequenze intermedie.

L'amplificazione ha luogo su entrambe, prima che il segnale sia finalmente rettificato e convertito in audiofrequenza. L'unità comprendente il primo mescolatore, l'oscillatore e gli stadî amplificatori a radiofrequenza è conosciuta col nome di *convertitore*, poichè essa converte il segnale d'ingresso v. h. f. in un segnale a

radiofrequenza più bassa che può essere manipolato da un normale ricevitore a supereterodina.

c) I ricevitori a superreazione sono usati per la ricezione di frequenze molto alte da 100 megacicli (3 metri) a 300 megacicli (1 metro). Questi ricevitori sono di due tipi. Nel primo, la tensione di *spegnimento* è sviluppata nel tubo rivelatore stesso; nel secondo un tubo oscillatore separato è usato per generare la tensione di spegnimento. Il ricevitore a superreazione ha il vantaggio di possedere una buona sensibilità, ma la sua selettività non è confrontabile a quella della supereterodina. Il ricevitore a superreazione è particolarmente conveniente per equipaggiamenti portatili che debbono essere costruiti nel modo più semplice possibile.

d) I ricevitori per funzionare a 300 megacicli (1 metro) ed a frequenze più alte richiedono tubi a vuoto di speciale progetto e linee coassiali risonanti nei circuiti accordati a radiofrequenza. Il diagramma circuitale di un ricevitore di questo tipo è mostrato dalla figura 249. Una linea coassiale risonante in quarto d'onda è impiegata quale circuito accordato di griglia di un semplice stadio rivelatore della radiofrequenza. Un tubo ghianda è usato come rivelatore in questo stadio.

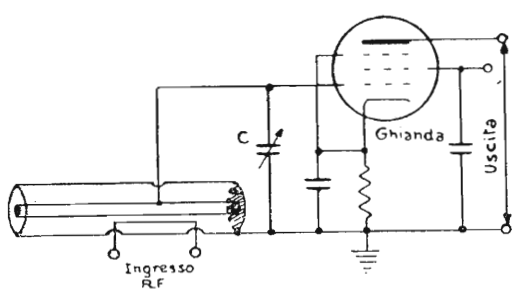


FIG. 249 - Ricevitore che impiega una linea concentrica in quarto d'onda sul circuito d'accordo.

160. Trasmettitore v. h. f.

a) I circuiti oscillatori usati nella trasmissione v.h.f. sono tutti basati sui tipi fondamentali di oscillatori discussi nel Capitolo X, benchè essi possano essere considerevolmente modificati

per compensare le relative capacità ed induttanze che possono essere trascurabili alle frequenze più basse. La capacità infraelettrodica del tubo a vuoto aumenta d'importanza alle frequenze molto alte, e la frequenza più alta possibile a cui un tubo può essere accordato è limitata dal tratto più corto possibile di filo di connessione fra gli elementi del tubo, come pure dall'effetto degli altri conduttori interni e dalla capacità infraelettrodica del tubo. Tuttavia, il tubo usualmente non oscilla fino a questo limite, per effetto delle altre perdite nel tubo e della reazione del carico. Con piccoli tubi radio di costruzione ordinaria il limite superiore di oscillazione è di circa 150 megacicli (2 metri). Per poter ottenere le oscillazioni a frequenze più alte, è necessario l'impiego dei tubi v. h. f. costruiti appositamente aventi una bassa capacità infraelettrodica ed una più bassa induttanza dei conduttori interni. Questi tubi speciali sono capaci di generare oscillazioni fino a frequenze di 300 megacicli (1 metro) o più alte.

b) Gli ordinari circuiti accordati con bobina e condensatore sono raramente usati a frequenze superiori a 100 megacicli (3 metri) e sono sostituiti dai circuiti accordati costituiti da sezioni di linee di trasmissione (circuiti accordati lineari). Questi circuiti accordati lineari sono usualmente lunghi un quarto d'onda, ma possono essere lunghi un qualunque multiplo di tale lunghezza senza alterare le proprietà risonanti del circuito accordato. Un oscillatore tipico v. h. f. è mostrato dalla figura 250. L'oscillatore è a circuito di griglia accordato e a circuito di placca accordato con una linea coassiale accordata che sostituisce l'usuale coppia di bobina e condensatore nel circuito accordato di griglia. Il circuito di figura 250 è accordato variando la posizione di un pistone scorrevole nell'estremità cortocircuitata della linea coassiale accordata.

c) Alle frequenze molto alte gli oscillatori stabilizzati possono essere accoppiati direttamente all'antenna per trasmissioni in onde continue. Gli oscillatori pilota sono generalmente usati per eccitare gli amplificatori modulati. La potenza di eccitazione richiesta da un amplificatore può essere abbastanza alta se vi sono conduttori di lunghezza apprezzabile dalla griglia o dalla placca

a qualunque condensatore d'accordo, oltre il conduttore usato come barra di cortocircuito, o se il condensatore ha un lungo cammino induttivo attraverso la sua intelaiatura. I ritorni da questi circuiti al catodo sono importanti, specialmente negli stadî a terminazione singola, e non dovrebbe mai essere mosso dalla sua posizione originale. Qualunque induttanza di conduttore può essere ridotta un po' usando nastro di rame per le connessioni, invece di conduttori più piccoli. Ciò non serve ad attenuare l'effetto pelle.

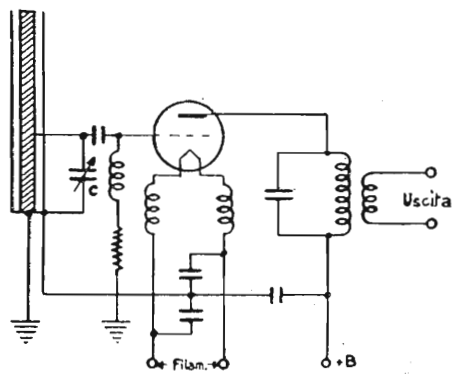


FIG. 250 - Oscillatore v. h. f. a circuito di griglia accordato e a circuito di placca accordato che impiega una linea concentrica nel circuito risonante di griglia.

d) Sia nei trasmettitori che nei ricevitori, possono spesso originarsi delle oscillazioni quando il resistore della polarizzazione catodica non è adeguatamente sciuntato per il passaggio delle frequenze molto alte. Gli ordinari condensatori di fuga posseggono considerevole induttanza che, combinata con la loro capacità, può introdurre una reattanza considerevole nel circuito.

e) Le proprietà induttive e capacitive di un tratto di filo rettilineo non sono particolarmente dannose alle più basse frequenze radio. Tuttavia, quando si lavora alle frequenze molto alte, l'induttanza e la capacità delle lunghezze di filo, sia pure le più corte, possono rappresentare una grande parte dell'induttanza

totale e della capacità totale dei singoli circuiti. Pertanto la filatura deve essere fatta la più corta possibile. Ciò deve essere tenuto presente quando si sostituiscono parti di qualunque circuito v.h.f.

161. Sistemi di antenna v. h. f.

a) La natura della propagazione v. h. f. impone due requisiti all'antenne v. h. f. Il primo è che l'antenna deve essere la più alta possibile. A queste frequenze, l'altezza dell'antenna è di più importanza che nella radiazione a basso angolo. Il secondo requisito è che sia l'antenna trasmittente che l'antenna ricevente debbono stare nel medesimo piano verticale od orizzontale, per ottenere la massima intensità del segnale. Benchè le onde polarizzate verticalmente (ossia provenienti da un radiatore verticale) siano più comunemente usate, le onde polarizzate orizzontalmente sono generalmente preferibili per le trasmissioni a lunghe distanze. Il sistema d'antenna, sia per il trasmettitore che per il ricevitore, deve essere installato quanto più possibile in alto e lontano da ostacoli.

b) Le linee di trasmissione costituite da linee coassiali o da linee a due fili paralleli, possono essere usate per accoppiare il sistema di antenna al trasmettitore o al ricevitore. Le linee di alimentazione non risonanti sono più efficienti alle frequenze molto alte di quelle risonanti.

c) L'isolamento è di primaria importanza alle frequenze molto alte. Molti isolatori che possono avere basse perdite fino a frequenze di 30 megacicli (10 metri) potranno completamente perforarsi a frequenze superiori a 100 megacicli (3 metri). Nemmeno gli isolatori ceramici a basse perdite sono soddisfacenti alle ultra alte frequenze quando la tensione a radiofrequenza è alta. Uno dei migliori e più pratici isolatori alle ultra alte frequenze è il polistirene. È pratica comune progettare i sistemi di antenna in modo che i vari radiatori siano sostenuti soltanto nei punti di tensione relativamente bassa. Poichè le tensioni normali sulle linee di alimentazione non accordate non sono alte, ivi il tipo di isolamento non è critico.

CAPITOLO XVI

TUBO A RAGGI CATODICI

162. Tubo a raggi catodici.

a) Questo è un tipo speciale di tubo a vuoto in cui gli elettroni emessi da un catodo che si muovono ad altissima velocità, vengono concentrati in uno stretto fascio, colpiscono uno schermo chimicamente preparato che diventa *fluorescente* o luminoso, nel punto ove batte il fascio elettronico. Poichè lo stretto fascio o pennello di elettroni mobili è *negativo* in polarità e non ha praticamente peso o inerzia, esso può essere facilmente deflesso da una carica *positiva*. La carica positiva che può essere di carattere elettromagnetico o di carattere elettrostatico, è applicata al fascio a mezzo di placche deflettenti, usualmente poste entro il tubo. Poichè la deflessione elettrostatica è più comunemente usata nei moderni tubi a raggi catodici, sarà qui discusso questo tipo di deflessione.

b) La costruzione di un tipico tubo a raggi catodici è mostrata dalla figura 251. Il catodo rilascia elettroni liberi quando è riscaldato da un filamento che esso racchiude. Una griglia cilindrica circonda il catodo e controlla l'intensità del fascio controllando il numero di elettroni che passano attraverso l'estremità aperta della griglia. Questa azione di controllo è compiuta variando la tensione negativa sulla griglia. Dopo di aver lasciato la griglia, il flusso elettronico passa attraverso due o più anodi cilindrici di focalizzazione, che concentrano gli elettroni in uno stretto fascio e li mettono a fuoco.

Gli anodi A_1 e A_2 (fig. 251) sono rappresentativi di un tipo di focalizzazione. Altri tipi e forme di anodi sono usati nei vari tipi di tubi a raggi catodici, ma il loro effetto sul fascio di elettroni ha funzione identica. Riferendoci ancora alla figura 251, il primo anodo A_1 concentra gli elettroni liberi in un fascio, mentre il secondo anodo A_2 accelera la loro velocità. Gli elettrodi descritti sino a questo punto costituiscono il cannone elettronico che pro-

duce elettroni liberi e quindi li proietta in un fascio sottile e mobilissimo sullo schermo fluorescente posto all'altra estremità del tubo.

c) Il cannone elettronico produce da solo soltanto una piccola macchia o punto luminoso sullo schermo. Tuttavia, quando il fascio di elettroni è deflesso o da un campo elettrostatico o da un campo elettromagnetico, la macchia si muove sullo schermo eseguendo spostamenti proporzionali alla forza esercitata dal campo deflettente. Quando il movimento del fascio elettronico è sufficien-

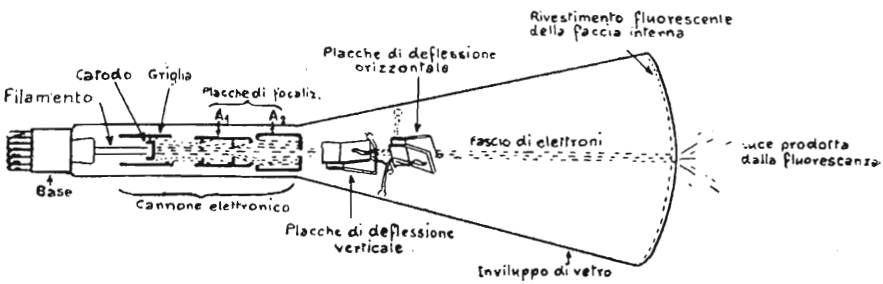


FIG. 251 - Costruzione semplificata di un tubo a raggi catodici tipico.

temente rapido la persistenza della immagine fa sì che il cammino, o traccia, della macchia mobile appaia come una linea continua. Il tipo più comune di tubi a raggi catodici impiega la deflessione elettrostatica di una coppia di placchette per esercitare una forza sul fascio in *un piano verticale* e la deflessione di un'altra coppia di placche per esercitare una forza nel *piano orizzontale*. Queste placchette deflettenti si chiamano rispettivamente placche verticali e placche orizzontali e sono montate ad angolo retto fra di loro. I campi elettrostatici sono creati applicando convenienti tensioni fra le placche di ciascuna coppia. Una placca di ciascuna coppia è usualmente connessa al secondo anodo del cannone elettronico per stabilire le polarità appropriate dei campi rispetto al fascio e rispetto all'altra placchetta. Così, per muovere il fascio elettronico, è soltanto necessaria l'applicazione di una tensione positiva o negativa (rispetto a massa) alla placchetta deflettente

isolata o libera. Se la tensione è positiva rispetto alla massa, il fascio elettronico sarà attratto dalla placchetta deflettente; se negativa, sarà respinto. L'importo di deflessione è direttamente proporzionale alla tensione applicata alla placca deflettente libera.

d) Lo schermo fluorescente consiste in certi preparati chimici depositati sulla parete interna all'estremità del tubo. Quando questo rivestimento chimico è colpito da un pennello elettronico in rapido movimento, esso emette una luce verde o gialla o blu o bianca, a seconda del materiale con cui è costituito lo schermo. Dopo l'impatto, l'emissione di luce persiste per un breve intervallo, usualmente soltanto una frazione di secondo. La persistenza dello schermo di un tubo a raggi catodici è data dalla durata della luminosità che permane dopo lo spostamento del fascio elettronico. Gli schermi sono pure classificati a seconda del colore emesso: verde o bianco, essendo questi i colori più comuni incontrati nella generalità dei lavori radio.

e) I potenziali di funzionamento per i vari elettrodi di un tubo a raggi catodici variano da 500 volt per i tipi miniatura a parecchie migliaia di volt per i tipi più grandi. Poichè la corrente erogata è molto piccola, il risultante consumo di potenza è pure piccolo. Deve essere notato che gli alimentatori di potenza per i tubi a raggi catodici hanno sempre il terminale *positivo* di uscita messo a massa. Pertanto, l'aliquota maggiore dell'alta tensione sviluppata è di polarità negativa (sotto il potenziale di massa), anzichè di polarità positiva come nella maggior parte degli alimentatori di potenza. L'ultimo anodo del cannone elettronico è generalmente al potenziale di massa o ad un potenziale vicino a questo. Le varie tensioni degli elettrodi intermedi, necessari per far funzionare il tubo a raggi catodici, sono usualmente ottenute a mezzo di un circuito divisore di tensione a resistenze, come indicato nel circuito di potenza tipico della figura 252. Poichè il catodo di un tubo a raggi catodici è usualmente ad un potenziale relativamente alto (rispetto alla massa), questo elemento deve essere ben isolato.

f) La manopola contrassegnata *intensità* (fig. 252) è un potenziometro che varia la tensione sulla griglia, ossia sull'elettrodo di controllo. Una diminuzione nella tensione negativa di polarizzazione di griglia, determina un aumento di flusso elettronico. Ciò fa aumentare il numero di elettroni che colpiscono lo schermo, producendo così un aumento dell'intensità luminosa della macchia sullo schermo. Al contrario un aumento nella tensione negativa di

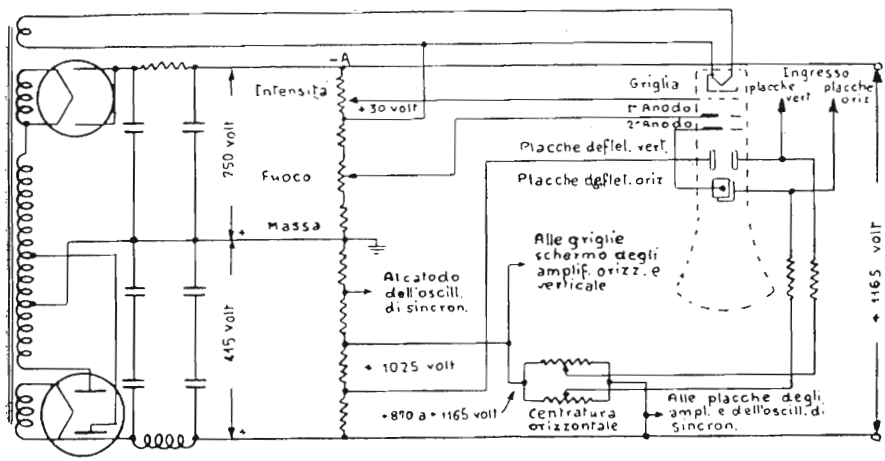


FIG. 252 - Diagramma circuitale semplificato di un alimentatore di potenza tipico per un tubo a raggi catodici e tensioni rappresentative.

griglia, determina una diminuzione dell'intensità luminosa della macchia. Il controllo dell'intensità è pure chiamato controllo della luminosità.

g) La manopola contrassegnata *fuoco* è un potenziometro che varia la tensione sul primo anodo del cannone elettronico. Ciò altera il rapporto di tensione fra gli anodi 1 e 2 e pertanto permette una variazione nel loro effetto di messa a fuoco. Quando l'immagine sullo schermo è nitida e chiara, la macchia o immagine è a fuoco.

h) È possibile che, per occasionali imperfezioni di fabbricazione, il cannone elettronico non proietti il flusso di elettroni sul centro esatto dello schermo. Questo può essere vero quando

nessuna differenza di potenziale esiste su ciascun complesso di placche deflettenti. Per correggere questa deviazione, o per porre intenzionalmente la macchia in una posizione di fuori centro, sono previste due manopole, il *centramento verticale* ed il *centramento orizzontale*. Queste manopole variano l'importo di tensione continua esistente fra le due placchette deflettenti libere. Un metodo per variare la tensione fissa o *stazionaria* applicata a ciascuna delle due placchette deflettenti libere è mostrato nella figura 252.

i) Il principale impiego del tubo a raggi catodici è nell'*oscillografo* che fornisce un mezzo visivo di esame e misura delle forme d'onda di tensioni e correnti alternative. Poichè gli elettroni hanno massa piccolissima, il fascio risponde alle più alte frequenze meglio di qualunque altro dispositivo di indicazione, e la gamma di applicazioni dell'oscillografo è pertanto praticamente illimitata. Il cannone elettronico del tubo a raggi catodici è usato, in forma modificata, in molti altri tubi elettronici, tali come l'indicatore di accordo a raggio elettronico, i tubi di televisione e i tubi radar.

163. **Oscillografo a raggi catodici.**

a) L'oscillografo è uno dei più importanti e rispondenti strumenti di prova usato per la manutenzione degli apparati radio, giacchè esso permette un esame visivo di vari fenomeni elettrici e radio che non sarebbe possibile ottenere con altri mezzi. Giusto come l'altoparlante costituisce l'anello di collegamento fra le onde elettriche e le onde sonore udibili, l'oscillografo a raggi catodici costituisce l'anello di collegamento fra le onde elettriche e la riproduzione visiva delle onde.

b) Un oscillografo è essenzialmente un tubo a raggi catodici operante con un appropriato alimentatore di potenza ed un qualche dispositivo per fornire una tensione di deflessione o tensione escursiva che è generalmente applicata alle placche deflettenti orizzontali. Esso è pure equipaggiato di amplificatori con tubi a vuoto per accrescere l'ampiezza di piccole tensioni alternative, che sono generalmente applicate alle placche deflettenti verticali.

Il diagramma a blocchi di un tipico oscillografo a raggi catodici è mostrato dalla figura 253. Esso comprende un tubo a raggi catodici, amplificatori di segnale per ciascuno dei due complessi di placche deflettenti, un circuito oscillatore per la tensione escursiva ed un adeguato alimentatore di potenza per il funzionamento di tutte queste varie parti componenti. Sono previsti dei commutatori per la disinserzione degli amplificatori sia delle placche verticali che di quelle orizzontali, nel caso in cui il segnale di arrivo è

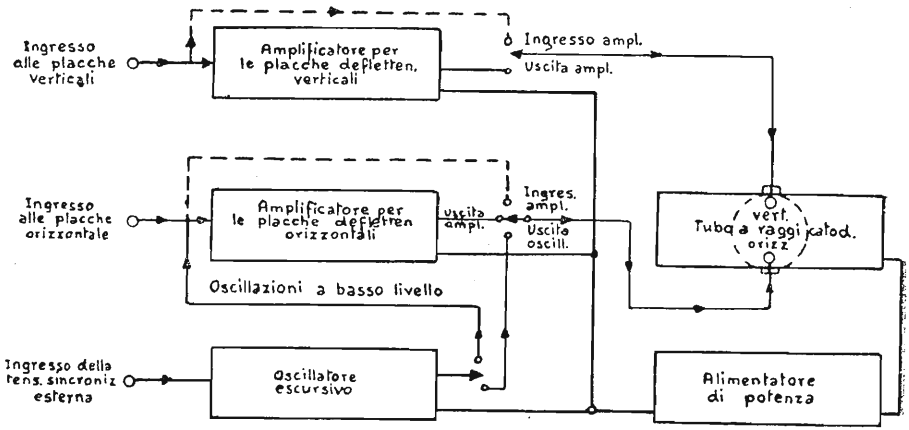


Fig. 253 - Diagramma a blocchi mostrante le parti componenti di un oscillografo a raggi catodici.

così alto da non richiedere amplificazione (fig. 253). Benchè sia disponibile una connessione di ingresso in entrambe le coppie di placchette deflettenti attraverso gli amplificatori, il segnale sotto osservazione è usualmente applicato alle placche verticali e la tensione escursiva proveniente dall'oscillatore, alle placche orizzontali.

164. Formazione delle figure oscillografiche.

a) Le varie tensioni su uno o entrambi i complessi di placche deflettenti provocheranno deflessioni proporzionali del fascio elettronico e corrispondenti movimenti della macchia luminosa sullo schermo. Per illustrare la posizione ed il movimento della macchia sullo schermo, riferiamoci alla figura 254 che mostra un semplice

circuito il quale fornisce tensioni continue a ciascuno dei due complessi di placchette deflettenti. Da questo circuito sarà notato che varie tensioni continue possono essere applicate ad una placchetta appartenente alla coppia verticale od a un'altra placchetta appartenente alla coppia orizzontale. I potenziometri sono usati per controllare i differenti valori di tensione necessari per muovere la macchia sullo schermo del tubo a raggi catodici. La figura 255 mostra la posizione della macchia per varie tensioni applicate alle placche deflettenti. La figura 255 (1) mostra la posizione della macchia quando la tensione E_1 è positiva ed E_2 è zero. Se E_1 ed E_2 fossero entrambi zero, la macchia sarebbe al centro dello schermo. La figura 255 (2) mostra la macchia quando la tensione E_1 è zero ed E_2 è positiva. In ciascun caso lo spostamento della macchia è proporzionale alla tensione continua. Le deflessioni verticale ed orizzontale ottenute sono ad angolo retto fra di loro essendo ciò dovuto alla posizione fisica dei due complessi di placchette deflettenti del tubo a raggi catodici. In (3) la posizione della macchia dipende dal fatto che E_1 ed E_2 sono eguali in ampiezza e la polarità positiva. Poichè le tensioni sono della stessa ampiezza, la forza deflettente è la stessa in entrambe le direzioni verticale ed orizzontale; quindi la macchia si sposta in una posizione giacente su una linea immaginaria che è a 45° sia con l'asse verticale che con l'asse orizzontale. Se sono applicate alle placche tensioni di valori differenti, la macchia può apparire in una qualunque posizione giacente entro il quadrante superiore di sinistra dell'area tratteggiata di (4). In modo simile, se E_2 è cambiata di polarità, la macchia può apparire in una qualunque posizione giacente entro il quadrante superiore di destra dell'area tratteggiata di (4). Se E_1 è pure cambiata di polarità, la macchia può apparire in una qualunque posizione giacente entro il quadrante più basso di destra dell'area tratteggiata (4). Se E_2 è un'altra volta cambiata riportandola alla sua polarità originale, la macchia

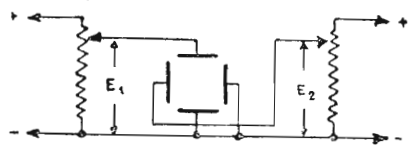


FIG. 254 - Circuito per spostare la macchia luminosa a mezzo di tensioni continue.

apparirà in una qualunque posizione giacente entro il quadrante più basso di sinistra dell'area tratteggiata. Si comprende quindi che per fare assumere alla macchia una posizione qualunque entro l'area racchiusa dai quattro quadranti di (4) occorre prima scegliere le polarità di E_1 ed E_2 e quindi variare le tensioni a mezzo dei due potenziometri. Ammettiamo adesso che una tensione alternativa di due cicli per secondo (escludendo la tensione continua) sia impressa attraverso E_1 e che E_2 sia zero. La macchia si sposterà orizzontalmente sullo schermo avanti ed indietro quattro volte per secondo, come indicato in (7). Se la tensione alternativa impressa è sinusoidale la macchia si muoverà rapidamente quando attraversa il centro, mentre si muoverà più lentamente verso le estremità della sua traccia. Se la frequenza della tensione impressa è accresciuta a 20 cicli per secondo o più, non si vedrà più la macchia, ma in sua vece si avrà una traccia orizzontale, come mostrato in (5). Sia la tensione alternativa applicata E_1, con E_2 nulla, la traccia sarà verticale, come mostrato in (6). A 20 cicli per secondo o meno, il movimento della macchia può essere seguito con l'occhio. Tuttavia a frequenze più alte di 20 cicli per secondo, il movimento della macchia non può essere più seguito. Se l'immagine viene tracciata approssimativamente 20 o più volte per secondo, essa appare continua e, nel caso di macchia fluorescente, si mostrerà come una linea di spessore uniforme. La caratteristica chimica dello schermo sarà pure di aiuto nella persistenza della traccia. Quando tensioni sinusoidali identiche sono applicate contemporaneamente alle placche orizzontali e verticali, i campi risultanti determineranno una traccia secondo una linea inclinata, come mostrato in (8). Sono tensioni identiche quelle tensioni che hanno eguali ampiezze, frequenze e fasi. Le stesse tensioni di (8) sono mostrate in (9), ad eccezione che esse ora sono esattamente 180° fuori fase.

b) La traccia della macchia mobile mostrata nella figura 255 (8) risulta dall'applicazione contemporanea di tensioni sinusoidali di eguale ampiezza, fase e frequenza sulle placche verticali ed orizzontali. Lo sviluppo geometrico completo della traccia è

mostrato nella figura 256. In questo caso la frequenza escursiva (onda B) ha la stessa frequenza della tensione sulle placche verticali (onda A). La tensione sulle placche verticali (onda A) è la forma d'onda sotto osservazione. La figura risultante C è utile

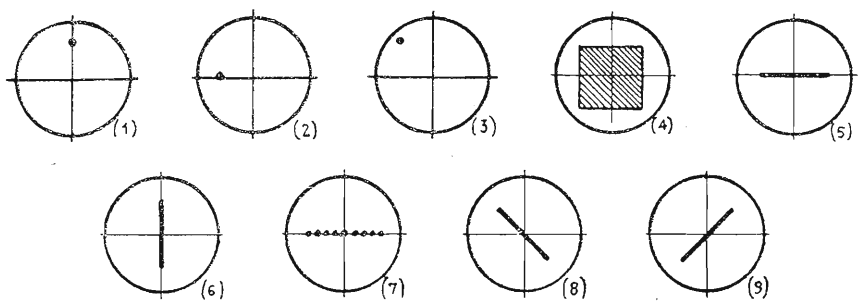


FIG. 255 - Posizione della macchia sullo schermo per varie tensioni applicate alle placche deflettenti impiegando i circuiti e le tensioni di figura 254.

(1) Posizione della macchia quando E_1 è positivo ed E_2 è zero.
(2) Posizione della macchia per E_1 zero e E_2 positivo.
(3) Posizione della macchia per E_1 e E_2 entrambe positive e di valori uguali.
(4) Area in cui la macchia può apparire per varie combinazioni di ampiezze di tensione e polarità.
(5) Traccia ottenuta applicando una tensione alternativa ai capi E_2 con E_1 zero.
(6) Come (5), ma con E_1 e E_2 invertite.
(7) Come può apparire la macchia a frequenze estremamente basse con le tensioni come in (5).
(8) Traccia ottenuta applicando tensioni in fase ai capi di E_1 e E_2.
(9) Traccia ottenuta applicando tensioni in opposizione di fase ai capi di E_1 e E_2.

per la determinazione della relazione di fase fra le due tensioni applicate ma non dà alcuna indicazione per quanto riguarda i valori istantanei di A.

c) Per riprodurre sullo schermo la forma d'onda A di figura 256, onde esaminare dettagliatamente ampiezza e forma, occorre applicare una forma d'onda B completamente differente da quella sinusoidale di figura 256. La nuova forma d'onda, chiamata onda di sincronizzazione, o frequenza di escursione, deve avere una variazione uniforme di tensione, come mostrata nell'onda a dente di sega di figura 258. L'onda di sincronizzazione deve partire da un

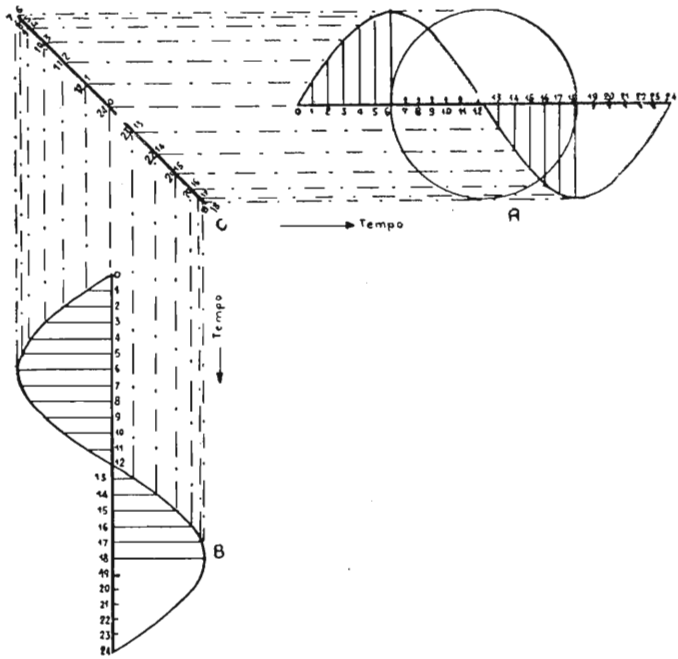


FIG. 256 - Diagramma *C* risultante dall'applicazione di tensioni in fase, con rapporto di frequenze 1 a 1, alle placche deflettenti orizzontali e verticali.

punto prestabilito sullo schermo, viaggiare attraverso lo schermo, a *velocità costante* e successivamente ritornare al punto di partenza per iniziare un nuovo ciclo. Il periodo di ritorno del fascio non è di speciale interesse e, pertanto, esso è ugualmente mantenuto il più breve possibile. Se l'onda sincronizzante a dente di sega è applicata alle placche deflettenti orizzontali e l'onda sinusoidale da esaminare è applicata alle placche verticali, la figura risultante tracciata sullo schermo dal pennello mobile di elettroni sarà quasi identica alla tensione sinusoidale originale d'ingresso. La figura 257 mostra la forma geometrica dell'onda *C* prodotta applicando l'onda sinusoidale *A* sulle placche verticali e sincronizzando essa con l'onda a dente di sega *B*. La necessità di dover impiegare un'onda sincronizzante a dente di sega, ossia lineare, è evidente.

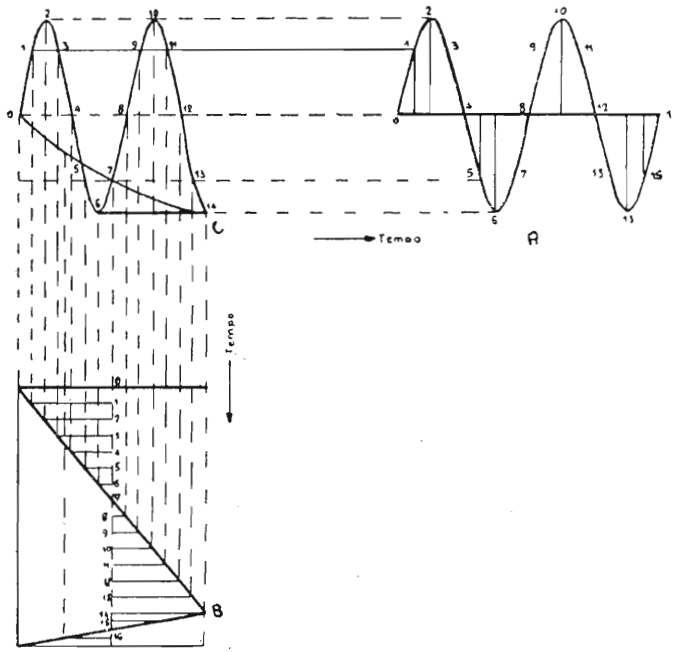


FIG. 257 - Diagramma *C* risultante dall'applicazione di tensioni in fase aventi rapporto di frequenze 2 a 1. Una tensione sinusoidale è applicata alle placche deflettenti verticali; la tensione dell'onda di sincronizzazione (a dente di sega) a frequenza più bassa è applicata alle placche deflettenti orizzontali.

165. Circuiti oscillatori per la tensione escursiva.

a) La forma d'onda desiderata in un oscillografo per la sincronizzazione deve partire da tensione zero, aumentare linearmente fino ad un massimo e successivamente cadere a zero per completare il ciclo. Questa forma d'onda di tensione (fig. 258) è chiamata tensione a *dente di sega*. Essa è pure chiamata una escursione lineare perchè la variazione di tensione è direttamente proporzionale al tempo. Riferendoci alla figura 258, quando la tensione cresce dal punto *A* al punto *B*, il pennello elettronico si sposta orizzontalmente da sinistra a destra. Quando l'onda cade dalla tensione massima nel punto *B* a tensione zero nel punto *C*

il pennello scatta indietro alla sua posizione di partenza e prontamente inizia la escursione successiva.

b) Le forme d'onda a dente di sega possono essere prodotte in diversi modi. Il metodo più frequentemente usato è quello che impiega un *oscillatore a rilassamento*, con un triodo a gas. Il circuito di un oscillatore generatore della tensione escursiva di un oscillografo tipico è mostrato nella figura 259. Il tubo usato in tale oscillografo è il VT 222 (sigla commerciale: 884). Il funzionamento di questo tipo di tubo a gas nel circuito generatore della tensione escursiva è reso possibile dal fatto che una tensione negativa sulla griglia porta all'interdizione della corrente di placca del tubo, oppure gli fa perdere quasi istantaneamente il controllo, verificandosi l'una o l'altra condizione in dipendenza del valore della tensione di placca. Dopo che la griglia ha perduto il controllo, esso può essere ripreso soltanto riducendo la tensione di placca ad un valore inferiore al potenziale di ionizzazione del gas nel tubo. Questa azione può essere controllata a mezzo di un condensatore posto in parallelo al circuito di placca e caricato attraverso un dispositivo limitatore di corrente. Quando la tensione di placca raggiunge il potenziale di rottura il condensatore si scarica attraverso il tubo (poichè il gas è ionizzato e diviene conduttore), la tensione di placca cade, la griglia riassume il controllo e si inizia un nuovo ciclo. Il tubo *VT* 222 è caratterizzato dal suo basso tempo di deionizzazione, che permette di essere impiegato per funzionare alle alte frequenze. La caduta di tensione fra la placca ed il catodo, mentre il tubo conduce corrente è approssimativamente di 16 volt. Nel circuito oscillatore semplice o a dente di sega, mostrato dalla figura 259, il condensatore *C* è caricato dalla batteria *B* attraverso il resistore *R*. La tensione polarizzante di griglia E_1 impedisce alla corrente di fluire attraverso il tubo sino a che la tensione ai capi del condensatore e del circuito di placca non abbia raggiunto il valore

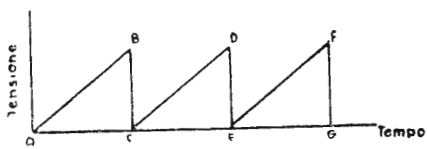


FIG. 258 - Forma d'onda ideale a dente di sega per oscillatore dell'asse dei tempi.

di rottura. A questo punto il condensatore si scarica attraverso il tubo e perde il suo potenziale. Ben presto la tensione del condensatore cade sotto il potenziale di ionizzazione del tubo, la griglia negativa attrae a sè gli ioni positivi e respinge gli elettroni degli altri elementi del tubo, deionizzando così lo spazio tra il catodo e la placca. Durante il periodo di deionizzazione, cessa il flusso della corrente di scarica, la griglia riassume il controllo ed il condensatore ricomincia a caricarsi per un nuovo ciclo.

c) La frequenza di oscillazione del circuito mostrato dalla figura 259 è determinata dai valori di *R* e *C*. Aumentando il valore di *C*, deve fluire più corrente per innalzare il suo potenziale

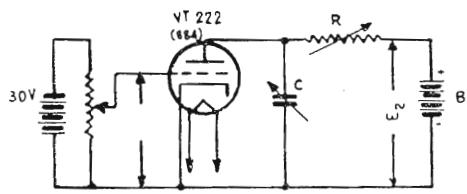


FIG. 259 - Circuito di un oscillatore a dente di sega che impiega il tubo *VT*-222.

fino al punto di rottura e conseguentemente il tempo richiesto per eseguire la traccia sullo schermo è più grande. Quindi, la frequenza è più bassa. Brevemente, più è alto il valore di *C* e più è bassa la frequenza. Inoltre, per un dato valore di *C*, il periodo di carica può essere aumentato aumentando il valore di *R*, ciò che è equivalente ad abbassare la frequenza. Brevemente: decrescendo *R* aumenta la frequenza; aumentando *R*, diminuisce la frequenza. Giacchè la polarizzazione di griglia controlla il potenziale di placca a cui avviene la scarica, essa determina pure la frequenza. Con un potenziale di rottura più basso, è richiesto meno tempo per caricare il condensatore *C*, quindi la frequenza diviene più alta.

Una tensione negativa di polarizzazione più grande richiede una tensione di placca più grande per determinare la conduzione e quindi occorre un intervallo di tempo maggiore per caricare il condensatore *C* e perciò la frequenza diventa più bassa. Conseguentemente, per poter coprire una larga gamma di frequenze, è

necessario impiegare un certo numero di condensatori fissi di valori appropriati e commutabili, cosicchè uno qualunque di essi possa essere posto in serie nel circuito in congiunzione con un resistore variabile. Il resistore variabile serve per ottenere una variazione fine di frequenza, con una sufficiente zona di sovrapposizione fra le adiacenti sottogamme ottenute connettendo i vari condensatori.

d) La procedura usuale per l'osservazione delle forme d'onda alternative consiste nel far funzionare il generatore della tensione escursiva con una frequenza sottomultipla della frequenza da osservare, in modo da far apparire sullo schermo parecchi cicli completi. Per esempio, una tensione escursiva di 100 cicli per secondo mostrerà tre cicli completi di un'onda avente la frequenza di 300 cicli per secondo. Poichè la figura scorre sullo schermo quando il rapporto fra la frequenza osservata e la frequenza della tensione escursiva non rimane costante ad un valore definito, è necessario sincronizzare le tensioni.

e) Se una piccola tensione alternativa è applicata in serie con la polarizzazione negativa sulla griglia del triodo a gas generatore della tensione escursiva, l'oscillatore avrà la tendenza ad « agganciarsi » con la tensione applicata quando la frequenza di oscillazione (determinata dal rapporto R/C del circuito di carica) si avvicina a quella della tensione sincronizzante o ad un sottomultiplo di essa. Questa tensione sincronizzante è usualmente iniettata nella griglia del triodo a mezzo di una resistenza variabile. Se è applicata una insufficiente tensione sincronizzante al triodo a gas, « l'agganciamento », ossia il trascinamento della frequenza dell'oscillatore, non potrà esercitare un'azione positiva. Se è applicata una tensione sincronizzante troppo forte, la forma d'onda della tensione escursiva sarà distorta. Ordinariamente è sufficiente per la sincronizzazione una frazione di volt.

166. **Amplificatori oscillografici.**

Si ottiene la completa utilità di un oscillografo dotandolo di amplificatori sia per la tensione delle placche deflettenti orizzontali come per quella delle placche deflettenti verticali, assicurando

così la disponibilità di una sufficiente tensione-segnale per produrre sullo schermo un diagramma di conveniente grandezza. Gli amplificatori usati nei circuiti oscillografi convenzionali sono generalmente del tipo con accoppiamento a resistenza e possono consistere in uno, due o tre stadî di amplificazione. L'amplificatore per le placche deflettenti orizzontali amplifica mormalmente soltanto la tensione escursiva proveniente dallo stadio oscillatore. L'amplificatore per le placche deflettenti verticali deve operare sopra una larga gamma di tensioni, dovendo amplificare onde di molte forme, sia semplici che molto complesse. La tensione da osservare o da misurare è immessa in questo amplificatore. Se il segnale sconosciuto è di sufficiente intensità, esso può essere applicato direttamente alle placche deflettenti verticali senza sottoporlo ad amplificazione.

167. Indicatore di sintonia a raggio elettronico.

a) Un'applicazione ingegnosa del tubo a raggi catodici è stata sviluppata per agevolare l'operazione di sintonia dei radioricevitori. Questo tubo è conosciuto con il nome di indicatore di sintonia a raggio elettronico. La costruzione interna del dispositivo è mostrata dalla figura 260. Il tubo è una combinazione di un triodo ordinario, più due elettrodi speciali: lo schermo e il deflettore o elettrodo di controllo del raggio. Lo schermo del tubo è connesso all'alta tensione (placca) del ricevitore. Gli elettroni provenienti dal catodo sono attratti dallo schermo. Quando questi elettroni colpiscono la superficie interna dello schermo, essi provocano la fluorescenza del rivestimento con emissione di luce verdastra. L'elettrodo di controllo del raggio è una sottile barra verticale posta tra il catodo e lo schermo. Poichè questa barra ripara parte dello schermo, una parte di elettroni non può colpire lo schermo lasciandone così una zona non fluorescente. L'estensione della superficie in ombra, dipende dalle tensioni relative sullo schermo e sull'elettrodo di controllo del raggio. Quando quest'ultimo è meno positivo dello schermo gli elettroni non possono colpire quella parte dello schermo che è bloccata dall'elettrodo di con-

trollo del raggio. Con una tensione fortemente negativa sull'elettrodo di controllo del raggio (rispetto allo schermo) l'angolo d'ombra è grande [fig. 261 (1)]. Quando l'elettrodo di controllo del raggio è allo stesso potenziale dello schermo l'angolo d'ombra è piccolo [fig. 261 (2)]. Per valori intermedi di tensione dell'elettrodo di controllo del raggio (rispetto allo schermo) l'angolo

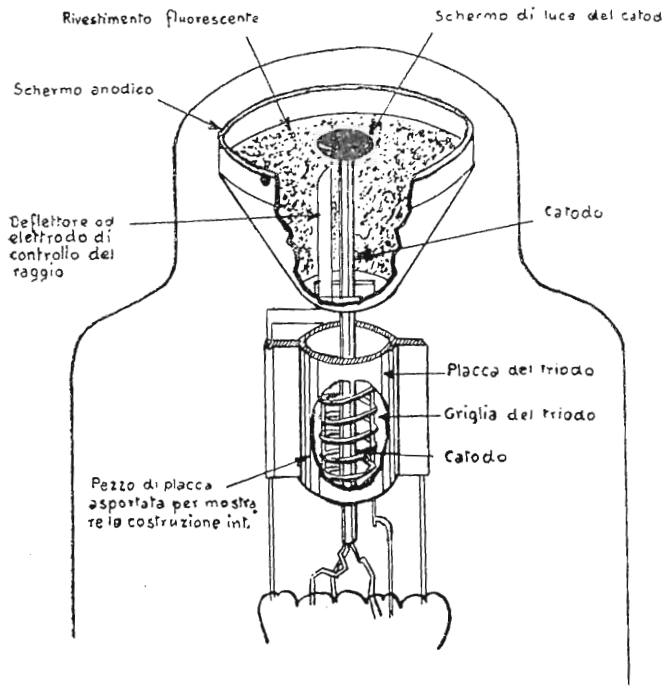


FIG. 260 - Tubo a raggio elettronico.

d'ombra ha dimensioni intermedie fra quelle esterne di cui sopra [fig. 261 (3)]. La macchia circolare nera che si trova nel centro dello schermo nel maggiore numero di tubi a raggio elettronico è provocata da uno schermo catodico, allo scopo di rendere l'importo di deflessione più avvertibile.

b) Il funzionamento del tubo a raggio elettronico in un circuito dipende dalla tensione fornita dal controllo automatico del

volume. Un circuito fondamentale è mostrato dalla figura 262. Se non si sta ricevendo alcun segnale dal ricevitore, la tensione del controllo automatico di volume è zero, e la polarizzazione sulla griglia del triodo è pure zero, permettendo così un flusso relativamente alto di corrente di placca nel tubo. Questa alta corrente di placca produrrà un'alta caduta di tensione di capi di *R*. Conseguentemente, le tensione di placca del tubo è molto meno positiva della tensione di alimentazione *B* per la placca. Da notare che lo schermo è direttamente connesso alla tensione di alimentazione *B* e che l'elettrodo di controllo del raggio è internamente connesso alla placca del triodo. Pertanto, l'elettrodo di controllo del raggio è negativo rispetto allo schermo e l'angolo d'ombra è grande [fig. 261 (1)]. Quando il ricevitore è accordato esattamente su di una stazione radio, la tensione del controllo automatico del volume è fortemente negativa, pertanto la griglia del triodo è negativa. La corrente di placca del triodo è minima e la caduta di potenziale ai capi di *R* è anche minima. Per questa condizione, la placca e quindi l'elettrodo di controllo del raggio hanno una tensione positiva quasi uguale a

FIG. 261 - Vista superiore del tubo a raggio elettronico.

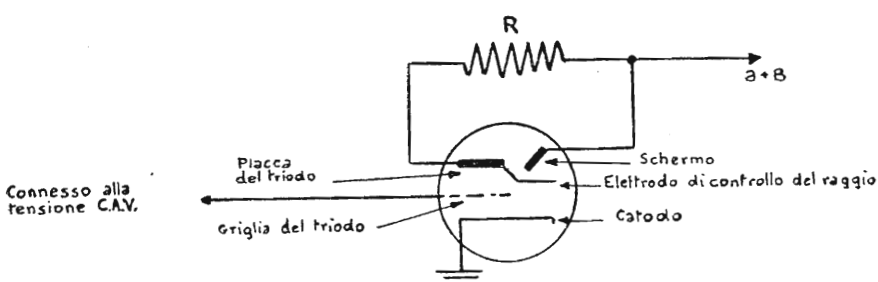


FIG. 262 - Circuito mostrante il metodo di connessione del tubo a raggio elettronico alla linea del C.A.V.

quella dello schermo e pertanto l'angolo d'ombra è molto piccolo [fig. 261 (2)]. L'angolo d'ombra del tubo varia con l'importo della tensione del controllo automatico di volume svilup-

pata dal rivelatore, e questa tensione a sua volta dipende dall'intensità del segnale. La tensione del controllo automatico di volume varierà pure spostando l'accordo del ricevitore dalla condizione di risonanza. Pertanto l'indicatore di sintonia a raggio elettronico serve quale indicatore visivo sia dell'intensità del segnale che della condizione di risonanza.

CAPITOLO XVII

RADIOGONIOMETRI

168. Generalità.

a) Le caratteristiche direzionali di alcune antenne radio sono utilizzate dai radiogoniometri per determinare la direzione di un trasmettitore distante accertando la direzione dell'onda a radiofrequenza in arrivo. I radiogoniometri terrestri impiegano generalmente l'aereo a telaio oppure l'antenna tipo Adcock. Il maggior numero di radiogoniometri impiegati a bordo di velivoli o di navi impiegano l'antenna a telaio, poichè questa può essere costruita più piccola e più compatta. Il principale impiego dei radiogoniometri terrestri consiste nel localizzare la direzione dei radiotrasmettitori nemici (confrontare l'istruzione americana FM 11–20). I radiogoniometri usati a bordo dei velivoli e delle navi servono a determinare la posizione del mezzo su cui sono installati.

b) I radiofari utilizzano la direttività dell'antenna *trasmittente* e quindi differiscono dai radiogoniometri. Benchè i radiofari possono mantenere il volo di un aeroplano su una predeterminata rotta, essi possono dare poche indicazioni al pilota circa la sua effettiva posizione. Quando deve essere conosciuta l'effettiva posizione, sono impiegati i radiogoniometri.

CAPITOLO XVIII

MANUTENZIONE E RIPARAZIONE DEGLI APPARATI RADIO

169. Manutenzione preventiva.

a) La manutenzione dei radiotrasmettitori, ricevitori e relativi apparati non incomincia quando gli apparati cessano di funzionare normalmente. La manutenzione deve incominciare settimane o mesi prima, non appena l'apparato è posto in servizio. Le regolari cure quotidiane e le ispezioni settimanali, costituenti la manutenzione preventiva, sono tanto importanti quanto l'effettiva manutenzione di prova e riparazione (paragrafo 171), poichè se la manutenzione preventiva è eseguita regolarmente e coscienziosamente, la maggior parte di guasti e di rotture non si verificherà mai. Molte ore di funzionamento esenti da inconvenienti si aggiungeranno alla vita di ogni trasmettitore e di ogni ricevitore con la semplice cura giornaliera e con l'esame settimanale di tutti gli elementi e della filatura del circuito. Sono necessari soltanto pochi minuti ogni giorno per ottenere: che l'apparato sia mantenuto interamente libero di sporcizia, polvere, sabbia, umidità e funghi; che tutti i cavi e le spine connettenti le differenti unità del complesso siano puliti, facciano bene contatto e non abbiano modo di danneggiarsi; che nessuna parte del complesso abbia a subire un deterioramento continuo.

b) Di tempo in tempo, preferibilmente una volta alla settimana, debbono essere eseguite ispezioni periodiche di manutenzione preventiva per determinare più accuratamente le condizioni di funzionamento effettivo dell'appararo radio. Qualunque rottura nei fili o nei cavi, un danneggiamento nelle parti componenti, od altro difetto scoperto durante questa ispezione, deve essere riparato e completamente aggiustato il più presto possibile. Un elenco delle parti importanti da ispezionare e controllare è dato nel paragrafo 170.

170. **Operazioni per l'ispezione.**

a) *Batteria.* Controllare:

1) Pulizia della batteria, contenitore, cavi della batteria e terminali.
2) Sicurezza dell'installazione nel contenitore.
3) Livello dell'elettrolita nella batteria (deve essere circa un centimetro sopra le piastre).
4) Isolamento del cavo (deve essere ben saldato e non corroso).
5) Densità specifica dell'elettrolita di ciascuna batteria.

b) *Radioricevitore.* Controllare:

1) Pulizia generale.
2) Connessioni meccaniche interne ed esterne.
3) Pulizia dei commutatori, pressione di contatto, stato delle manopole.
4) Saldature delle connessioni.
5) Cuffia, se impiegata.
6) Tubi a vuoto.
7) Fusibili.
8) Appropriata lubrificazione del survoltore.

c) *Radiotrasmettitore.* Controllare:

1) Pulizia generale.
2) Serraggio delle connessioni meccaniche esterne.
3) Serraggio delle connessioni meccaniche interne.
4) Pulizia degli strumenti e funzionamento appropriato.
5) Saldature delle connessioni.
6) Microfono e tasto.
7) Tubi elettronici.
8) Fusibili.
9) Controllo delle correnti di placca dei grandi tubi in relazione ai valori di funzionamento normale.

d) *Survoltori.* Controllare:

1) Lubrificazione (eccessiva o inadeguata).
2) Pulizia delle spazzole (il commutatore deve essere ben pulito con panno spesso).
3) Fusibili.
4) Saldatura delle connessioni.
5) Portaspazzole.
6) Tensione.

e) *Antenne.* Controllare:

1) Integrità meccanica degli isolatori e degli spaziatori.
2) Condizioni degli isolatori di fibra.
3) Condizioni generali delle sezioni di antenna.

171. Manutenzione di controllo e riparazione.

Nel normale servizio di qualunque pezzo di equipaggiamento radio, possono svilupparsi difetti e rotture. Affinchè la necessaria riparazione possa eseguirsi entro un intervallo di tempo ragionevolmente breve, deve essere seguita una successione logica di prove. Qualsiasi metodo di prova e riparazione ha il doppio scopo di: primo, localizzare il circuito o stadio difettoso; secondo: localizzare l'elemento o parte componente difettosa. Il difetto deve essere scoperto nel modo più rapido e preciso possibile. La procedura effettiva da seguire può essere divisa in cinque parti: ispezione visiva, ispezione elettrica, riparazione, ispezione finale e prova di funzionamento.

Una breve traccia del sistema di manutenzione di controllo e riparazione è data sul paragrafo 172.

a) *Ispezione visiva.* — Nella ispezione visiva è prima fatto un controllo di spine, prese, cavi e fusibili, microfoni, cuffie e tutte le altre parti che possono essere esaminate senza rimuovere il complesso dalla custodia. Se non sono localizzati dei difetti in questo controllo esterno, l'ispezione visuale è ripetuta nell'interno

dell'apparato. Siano controllati i tubi per vedere se è bruciato il filamento, siano esaminate le connessioni per vedere se sono danneggiate, siano guardate le connessioni per vedere se si sono allentate, si ispezionino le parti isolanti per vedere se sono rotte ed infine si faccia un rapido esame delle altre parti. Per i tubi metallici si può sapere se è interrotto il filamento toccando il loro involucro dopo che il complesso è stato messo in funzione: un involucro freddo indica che il filamento è interrotto. Se con l'ispezione visiva non si riesce a localizzare il guasto bisogna ricorrere all' ispezione elettrica.

b) Ispezione elettrica.

1) Il primo passo nell'ispezione elettrica di un complesso difettoso è la prova di tensione. Le tensioni elettriche di tutti i tubi debbono essere confrontate con le tensioni elettrodiche riportate nel manuale di manutenzione per il dato complesso. In molti casi la prova delle tensioni indicherà in quale circuito sia il guasto; se la prova delle tensioni fallisce per la localizzazione del guasto, può essere necessaria una prova dinamica (di funzionamento) o un controllo dettagliato delle parti.

2) Nella prova dinamica di un ricevitore, un segnale proveniente dall'oscillatore di prova, avente la frequenza compresa nella gamma di frequenza del ricevitore, è applicato al circuito d'antenna del complesso, e sono eseguite delle misure all'uscita di ciascun stadio successivo per determinare in quale stadio cessa il segnale. Un oscillografo a raggi catodici può essere impiegato in questo tipo di prova. Un altro metodo di prova dinamica particolarmente usato quando non è disponibile un oscillografo, un voltmetro a valvola, od altro dispositivo di misura del segnale, impiega la procedura inversa di quella precedente.

Per provare, ad esempio, l'estremità a radiofrequenza di un ricevitore, il segnale proveniente dall'oscillatore di prova è applicato successivamente ai circuiti di ingresso del rivelatore, degli stadî amplificatori a frequenza intermedia, del mescolatore, dell'amplificatore a radiofrequenza, e così di seguito. Il generatore di

segnale o l'oscillatore di prova deve sempre essere accordato alla frequenza dello stadio sotto misura. Se non è sentito alcun segnale sulla cuffia o nell'altoparlante quando il generatore di segnale è connesso ad un dato stadio, il guasto sta in quei circuito del ricevitore. Con l'applicazione di un po' di ingegnosità da parte del radioriparatore, simili prove dinamiche possono essere immaginate per qualunque elemento di apparato per le radio comunicazioni. La convenienza e la velocità di questo tipo di prova per la localizzazione dei guasti dei circuiti appaiono evidenti.

c) *Riparazioni e sostituzioni.* — Dopo che il guasto è stato definitivamente localizzato occorre fare la riparazione o la sostituzione. In tutte le riparazioni e sostituzioni deve essere fatto ogni sforzo per riportare l'apparato nella condizione originale. Dovrebbero essere eseguite soltanto sostituzioni di parti unificate. Occorrerebbe avere cure particolari nel porre la parte di connessione sostituita nella posizione originale. Le saldature dovrebbero essere eseguite soltanto con tubetto saldante a nucleo di resina; deve essere usato il più piccolo quantitativo di saldatura necessaria per eseguire una buona giunzione meccanica ed elettrica. Nel caso di riparazioni di emergenza, quando non è possibile eseguire l'esatta sostituzione delle parti, dovrebbe essere posta la stessa attenzione nel lavoro di riparazione. Il complesso riparato provvisoriamente deve essere accompagnato da targhetta che indichi la natura temporanea della riparazione e dovrebbe essere riportato alla sua condizione originale non appena possibile.

d) *Ispezione finale.* — Dopo di aver completato tutte le riparazioni e sostituzioni, l'apparato deve essere accuratamente ispezionato per assicurarsi che non sia stato lasciato alcun difetto, che il lavoro sia stato eseguito in modo corretto e che tutti gli elementi siano stati disposti nel giusto modo. In questa ispezione finale deve essere eseguito un controllo delle caratteristiche di funzionamento dell'apparato, come sensibilità, volume, precisione di calibrazione dei quadranti, per determinare se tutte le riparazioni abbiamo riportato l'apparato ad uno stato di funzionamento soddisfacente.

TABELLA V

SIMBOLI RADIO COMUNI

DISPOSITIVO	SIMBOLO	DISPOSITIVO	SIMBOLO	DISPOSITIVO	SIMBOLO
Conduttore a filo		Induttore con presa		Connettore tipico maschio	
Fili che si incrociano connessi » » » » non connessi		Induttore con nucleo di ferro		Connettore tipico femmina	
Massa		Induttore con nucleo di polvere di ferro		Pila a secco, batteria, accumulatore	
Antenna		Trasformatore con nucleo di polvere di ferro		Cuffia	
Contrappeso		Trasformatore a nucleo di aria		Altoparlante	
Antenna a telaio		Trasformatore variabile		Microfono	
Terminali		Trasformatore a nucleo di ferro		Catodo termoionico	
Schermaggio		Trasformatore a nucleo di aria accordato		Catodo a scarica fredda	
Filo schermato		Induttori con accoppiamento ad anello		Filamento	
Coppia di fili spiralizzata		Tasto		Griglia	
Cavo coassiale		Commutatori		Placca o anodo	
Cavo coassiale		Commutatore rotativo		Elettrodi formatori del fascio	
Cavo schermato		Commutatore doppio		Bulbo o inviluppo	
Resistore		Commutatore selettore		Bulbo o inviluppo a riempimento gassoso	
Resistore variabile		Commutatore per linea di potenza		Tetrodo a fascio	
Condensatore fisso		Relè		Tubo regolare di tensione	
Condensatore fisso schermato		Jachs		Triodo, base octal	
Condensatore variabile		Spina per microfono, cuffia, ecc.		Triodo, base octal	
Condensatore variabile con indicazione placche mobili		Spina per presa di energia		Vibratore	
Condensatore variabile schermato		Presa di energia		Cristallo	
Condensatore variabile ad asse unico		Connettore polarizzato maschio		Rettificatori ad ossido	
Condensatori a sezione doppia		Connettore polarizzato femmina		Fusibile	
Bobina o induttore		Connettore bipolare femmina		Lampada spia	
Induttore variabile		Connettore bipolare polarizzato femmina		Voltmetro	